

Grado en Ingeniería Eléctrica

2017-2018

Trabajo Fin de Grado

“Instalación de Baja Tensión de un Centro Penitenciario”

Tetyana Ohurok

Tutor:

Juan Carlos Burgos Díaz

Leganés, marzo de 2018

Agradecimientos

En primer lugar me gustaría agradecer a mi tutor Juan Carlos Burgos Díaz por haberme ofrecido la oportunidad de realizar este Trabajo Fin de Grado, por apoyarme, guiarme y aconsejarme en todo momento, y ante todo, realizarme como persona. Igualmente me gustaría agradecer a Adolfo Hernando por su aportación indispensable.

Agradecer a mis padres por darme una educación, por enseñarme a luchar, a conseguir mis metas, a no rendirse, por esta siempre ahí.

A mis amigos y seres queridos, por apoyarme y acompañarme en todo este camino, por regalarme los mejores momentos, por enseñarme que los únicos límites que existen son los que me pongo yo en mi propia cabeza.

¡A todos vosotros, muchas gracias!

“Hace tiempo aprendí y hoy quiero enseñarte: se valiente, se paciente y constante, corriendo no llegas antes”

ÍNCIDE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Objeto	2
1.3. Proceso de Cálculo	3
2. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN	4
2.1. Descripción general.....	4
2.2. Comunicación entre Cuadro de Conmutación del Grupo Electrógeno (CCGE) y cargas críticas.....	12
2.3. Estimación de la demanda.....	13
3. SELECCIÓN DE CABLES.....	15
3.1. Normativa aplicable	15
3.2. Teoría básica	16
3.2.1. Criterios	16
3.2.2. Calentamiento	17
3.3. Selección de los conductores de la instalación.....	30
3.3.1. Descripción del Libro Excel	30
4. SELECCIÓN DE INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS.....	58
4.1. Teoría básica	58
4.1.1. Generalidades.....	58
4.1.2 Principios de funcionamiento.....	60
4.1.3. Clasificación de los Interruptores Automáticos	62
4.1.4. Principales tipos de Interruptores Automáticos.....	63
4.1.5. Curvas de Actuación	66
4.2. Selectividad de protecciones	73
4.2.1. Definición	73
4.2.2. Selectividad de interruptores automáticos en función del tipo de defecto	74
4.2.3. Técnicas para conseguir selectividad	76
4.3. Selección de los diferentes interruptores automáticos	80
4.3.1. Forma de distribución de los interruptores automáticos	80
4.3.2. Hoja: Resumen 2.....	82
5. SELECCIÓN DE INTERRUPTORES DIFERENCIALES	96
5.1. Teoría básica	96
5.1.1. Sistema de conexión del neutro y de las masas en redes de distribución.....	97

5.1.2. Definición del Dispositivos Diferenciales Residuales	99
5.1.3. Reglas generales.....	103
5.1.4. Funcionamiento de los interruptores diferenciales	104
5.1.5. Protección contra corrientes diferenciales en el régimen de neutro TT	106
5.2. Selectividad de los interruptores diferenciales	107
5.3. Selección de los interruptores diferenciales	110
5.3.1 Coordinación entre los interruptores automáticos e interruptores diferenciales	111
6. RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	112
6.1. Resumen del trabajo realizado	112
6.2. Aportaciones del Trabajo Fin de Grado.....	114
6.3. Sugerencias para futuros trabajos.....	114
7. BIBLIOGRAFÍA	115
8. PRESUPUESTO	117
9. PLANOS	160

CONTENIDO DE TABLAS Y FIGURAS

TABLAS

Tabla 1: Edificios que componen la Unidad de Preventivos.....	4
Tabla 2: Líneas que unen el CGBT con cada uno de los cuadros de distribución de cada zona	8
Tabla 3: Líneas que unen los cuadro de distribución (Zona de Hombres y Zona de Mujeres) con los cuadros secundarios.....	8
Tabla 4: Líneas que unen el cuadro de distribución, Zona de Servicio, con los subcuadros pertenecientes a dicha zona	9
Tabla 5: Líneas que unen los cuadros secundarios pertenecientes a la Zona de Mujeres con los subcuadros existentes en cada módulo y edificio de dicha zona	10
Tabla 6: Líneas que unen los cuadros secundarios pertenecientes a la Zona de Hombres con los subcuadros existentes en cada módulo y edificio de dicha zona	11
Tabla 7: Potencia total demandada por la Unidad Preventiva.....	13
Tabla 8: Reglamento y normas aplicadas para selección de cables.....	15
Tabla 9: Temperaturas máximas admisibles en los conductores dependiendo del tipo de aislamiento	17
Tabla 10: Instrucciones Técnicas Complementarias de las que dispone el REBT	18
Tabla 11: Conductividad térmica de los materiales a distintas temperaturas. σ	27
Tabla 12: Valores de $X'(\Omega/\text{km})$ para conductores de líneas interiores (Tomada del Anexo 2 de la Guía Técnica de Aplicación del REBT).....	27
Tabla 13: Valores de $X'(\Omega/\text{km})$ para conductores subterráneos.....	27
Tabla 14: Máximos valores de caída de tensión.....	29
Tabla 15: Características generales de los conductores.....	57
Tabla 16: Reglamento y normas aplicadas para interruptores diferenciales.....	58
Tabla 17: Selección de interruptores automáticos según su I_n y P_dC	95
Tabla 18: Reglamento y normas aplicadas para interruptores diferenciales.....	96
Tabla 19: Tiempo máximo que es posible mantener la tensión de contacto según la norma UNE 20460.....	101
Tabla 20: Efecto de las corrientes eléctricas débiles en los seres humanos	102

FIGURAS

Figura 1: Disposición física de los edificios de la Unidad de Preventivos.....	5
Figura 2: Delimitación de las tres Zonas existentes en la Unidad de Preventivos.....	6
Figura 3: Esquema de la instalación eléctrica de la Unidad de Preventivos	7
Figura 4: Ejemplo de la tabla extraída de la norma UNE HD 60364-5-52	19
Figura 5: UNE HD 60364-5-52, Intensidad admisible	20
Figura 6: Tabla 5 de la ITC-BT-07. Intensidad máxima admisible para conductores de cobre	21
Figura 7: Tabla 6 de la ITC-BT-07, factor de corrección para distintas temperaturas	22
Figura 8: Tabla 7 de la ITC-BT-07, factor de corrección para diferente resistividad térmica del terreno	22
Figura 9: Tabla 8 de la ITC-BT-07, factor de corrección para agrupaciones de cables.....	23
Figura 10: Tabla 9 de la ITC-BT-07, factor de corrección para diferente profundidades	23
Figura 11: Cortocircuito más peligroso, trifásico	24
Figura 12: Valores de K (coeficiente según el material del cable) para los conductores de línea	26
Figura 13: Máxima densidad de corriente en el conductor durante el cortocircuito según ITC-BT-07	26
Figura 14: Circuito equivalente de una línea corta con su diagrama fasorial	28
Figura 15: Extracto del Libro Excel: potencia demandada por las cargas.....	32
Figura 16: Extracto del Libro Excel: datos de la instalación	33
Figura 17: Extracto de Libro Excel: tablas y condiciones para canalizaciones en bandeja perforada.....	34
Figura 18: Extracto de Libro Excel: tablas y condiciones para canalizaciones empotradas en tubo	35
Figura 19: Extracto de Libro Excel: sección y corriente máxima admisible por los cables (al aire).....	35
Figura 20: Extracto de Libro Excel; datos que tiene en cuenta la hoja "Al aire"	38
Figura 21: Extracto de Libro Excel: Corriente máxima admisible por el cables y su impedancia correspondiente (hoja "Al aire")	39
Figura 22: Extracto de Libro Excel: tablas y factores de corrección utilizados para el cálculo de los cables subterráneos	40
Figura 23: Extracto de Libro Excel: valores de reactancias y densidad de corriente para cables subterráneos.....	41
Figura 24: Extracto de Libro Excel: cables subterráneos.....	41
Figura 25: Extracto de Libro Excel: cálculo de la caída de tensión.	42
Figura 26: Extracto de Libro Excel: hoja de corriente de cortocircuito	44
Figura 27: Extracto de Libro Excel: acumulación de números complejos	45
Figura 28: Esquema de funcionamiento de un interruptor automático.	60
Figura 29: Interruptor automático de bastidor abierto	63
Figura 30: Interruptor automático de caja moldeada	64
Figura 31: Interruptores automáticos modulares	65
Figura 32: Actuación de un IA limitador	65
Figura 33: Tabla H2-3-005: principales características de actuación (anexo K UNE 60947-2).....	68

Figura 34: Curva característica de respuesta de un interruptor	69
Figura 35: Curva de actuación de un interruptor automático	70
Figura 36: Curva de disparo en interruptores termomagnéticos.....	71
Figura 37: Selectividad en sobrecarga	74
Figura 38: Selectividad ante cortocircuitos mediante las curvas tiempo/corriente	75
Figura 39: Selectividad amperimétrica	76
Figura 40: Selectividad cronométrica	77
Figura 41: Selectividad pseudocronométrica	78
Figura 42: Principio de funcionamiento de la selectividad lógica.....	78
Figura 43: Extracto del Libro Excel: hoja Resumen 2	82
Figura 44: Esquemas de conexión a tierra: TT, TN e TI; definidos por la CEI 60364-3....	97
Figura 45: Esquema de conexión TT.....	98
Figura 46: Un defecto en la línea que se traduce en una corriente diferencial. Izquierda línea monofásica, centro línea trifásica, derecha diagrama fasorial en ese caso.	99
Figura 47: Principio de generación de la tensión de contacto U_c	100
Figura 48: Curvas de tiempo de contacto máximo en función de la tensión de contacto, según la norma UNE 20460.....	102
Figura 49: Corriente de defecto a través del toroidal.....	104
Figura 50: Funcionamiento de un diferencial.....	105
Figura 51: Esquema de distribución TT	106
Figura 52: Interruptores Diferenciales en Serie (selectividad vertical)	107
Figura 53: Temporización de un diferencial aguas arriba que tiene en cuenta el tiempo de corte y el tiempo de memoria del diferencial aguas abajo	108
Figura 54: Curva de disparo de los diferenciales	109
Figura 55: Más en detalle, curvas de actuación de diferenciales	109
Figura 56: Parte del plano "Plano General", coordinación entre los interruptores automáticos e interruptores diferenciales.....	111

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

El presente Trabajo Fin de Grado tiene como objetivo el diseño de la instalación eléctrica de Baja Tensión de un centro penitenciario ficticio, basado en un centro penitenciario real. Las instalaciones a diseñar se centraran únicamente a la Unidad de Preventivos, objeto de estudio.

A diferencia de otros Trabajos Fin de Grado semejantes, que se limitan a elegir los elementos de la instalación sin una justificación clara, este Trabajo de Fin de Grado pretende ser un trabajo teórico-práctico, en el que la elección de los elementos de la instalación tenga su correspondiente justificación. Se llevará a cabo el estudio y la determinación de los principales puntos de una instalación eléctrica de pública concurrencia, como es el caso del centro penitenciario.

En el proyecto se analizarán fundamentalmente tres partes: selección de cables, selección de interruptores automáticos y selección de interruptores diferenciales. Al principio de cada parte se realizará una descripción teórica para una mejor comprensión del apartado, además servir, posteriormente, como base para la justificación de la elección de los elementos.

Además de la parte teórica, el proyecto consta de cálculos eléctricos justificados, plano general del centro preventivo, esquema de distribución de cuadros eléctricos y diagramas unifilares.

Este trabajo se centrará especialmente en instalaciones de Baja Tensión. No será estudio de objeto instalaciones de Media Tensión, como es el caso del Centro de Transformación, aunque se harán al respecto ciertos comentarios cuando sea necesario su mención para una mejor comprensión/justificación de los datos. Por indicación de mi tutor, el trabajo tampoco contempla la elección de las luminarias de cada sala o pasillo, aunque sí la acometida eléctrica de las mismas.

Los programas utilizados para la realización de este trabajo han sido Excel y AutoCAD.

El libro Excel permite la adecuada elección de la sección de cables subterráneos e interiores, teniendo en cuenta las caídas de tensión y las corrientes de cortocircuito, así como la adecuada elección de interruptores automáticos (con sus calibre nominal asignado y poder de corte correspondientes). A diferencia de otros Trabajos Fin de Grado que utilizan herramientas informáticas de cálculo de instalaciones o libros Excel programados por otras personas, en el presente Trabajo Fin de Grado el libro Excel, que se describirá en detalle posteriormente, fue programado específicamente para el Trabajo Fin de Grado como una tarea más del mismo, esto permite una mayor comprensión del proceso de cálculo a realizar de una instalación de Baja Tensión.

El programa AutoCAD se utilizó para la realización de los planos generales, esquemas eléctricos y diagramas unifilares para una mejor comprensión y justificación del centro.

1.2. Objeto

Como se ha indicado en el apartado precedente, el objetivo principal de este Trabajo Fin de Grado es el diseño de la instalación de Baja Tensión del módulo de presos preventivos de un centro penitenciario ficticio.

Los objetivos secundarios del Trabajo Fin de Grado son dos, el primero es realizar una justificación teórica de los cálculos realizados, que ayuden a comprender mejor el proceso de diseño de la instalación, en ese sentido el Trabajo Fin de Grado ayuda a asentar y profundizar en los conceptos vistos en la asignatura Instalaciones Eléctricas. El segundo objetivo es la programación de un libro Excel que permita mecanizar los cálculos necesarios para el diseño de la instalación.

Nuestros objetivos comenzarán con una descripción del centro donde se especificarán una previsión de cargas, longitudes de líneas y la acometida entre los cuadros. De esta forma conoceremos la potencia total a ser alimentada y un plano general del centro.

1.3. Proceso de Cálculo

El punto de partida es la distribución de los edificios del Centro, que es una distribución inventada. En el capítulo 2 se hace una descripción del Centro Penitenciario y de sus edificios.

Para el diseño de la instalación en primer lugar se realizará una estimación de la demanda de cada uno de los edificios y dependencias que componen el centro penitenciario. Si el centro penitenciario fuera un centro existente, esto sería un dato del problema. En este caso ha habido que estimarlo con la mayor verosimilitud posible.

Seguidamente, conociendo las potencias demandadas por cada carga, la longitud de las líneas entre los cuadros y el estudio previo de la acometida, se realizarán los cálculos necesarios para la adecuada elección de la sección de cables. En este apartado, uno de los temas más importantes será el cálculo de las intensidades de cortocircuito y de las caídas de tensión, ya que harán que la sección de cable sea más grande o más pequeña, influyendo esto en el presupuesto.

Otros de los temas importantes y objeto de estudio de este Trabajo son las protecciones, ya que es imprescindible mantener la seguridad de personas, animales e incluso de los propios elementos de la instalación ante contactos directos e indirectos producidos en la misma. Se presentarán y explicarán los principales equipos (interruptores automáticos e interruptores diferenciales) que cumplen la función de protección en el centro, justificando finalmente la elección de ellos.

Finalmente, al tratarse de un local de pública concurrencia, se debe tener un suministro complementario, por si se produce un fallo de la alimentación, ya que por tratarse de un centro penitenciario es muy importante un buen suministro de energía. Por ello, deberá dotarse al centro de un grupo electrógeno, que se analizará y se explicará su funcionamiento.

2. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

2.1. Descripción general

Un centro penitenciario consta de dos partes, la Unidad de Cumplimiento, donde se alojan los internos con condena firme, y la Unidad de Preventivos, donde se alojan los internos en espera de juicio. El trabajo se centrará exclusivamente en las instalaciones de Baja Tensión de la Unidad de Preventivos. Por ello, la instalación eléctrica de esta Unidad será la única que se describa. El diseñar la Unidad de Cumplimiento no aporta mayor conocimiento en lo que a diseño de instalaciones eléctricas se refiere, y sin embargo, supone una carga de trabajo que excede de la carga crediticia de un Trabajo Fin de Grado.

La Unidad de Preventivos está compuesta por 400 celdas distribuidas en 20 módulos de 10 celdas. Los 20 módulos están agrupados en cuatro edificios de 2 plantas, dos edificios para hombres y dos edificios para mujeres, (son los Módulos de Reclusión). Además se tiene una zona de servicios, compuesta por 4 edificios, más una torre de vigilancia y un Centro de Transformación. Todo ello se muestra en la Figura 1.

En la Tabla 1 se resumen los principales edificios de la instalación. En la Figura 1 se puede ver la disposición física de los edificios.

Unidad de Preventivos		
Zona de Hombres	Zona de Mujeres	Zona de Servicios
<ul style="list-style-type: none">➤ Edificio 1: Hospital➤ Edificio 2: Comunicaciones➤ Edificio 3: Taller➤ Edificio 4: Servicios Generales➤ Edificio 5: Centro de Control➤ Edificio 6: Módulos de reclusión - MR1➤ Edificio 7: Módulos de reclusión - MR2	<ul style="list-style-type: none">➤ Edificio 8: Hospital➤ Edificio 9: Comunicaciones➤ Edificio 10: Taller➤ Edificio 11: Servicios Generales➤ Edificio 12: Centro de Control➤ Edificio 13: Módulos de reclusión - MR1➤ Edificio 14: Módulos de reclusión - MR2	<ul style="list-style-type: none">➤ Edificio 15: Oficinas Generales➤ Edificio 16: Cuerpo de Guardia➤ Edificio 17: Comunicaciones➤ Edificio 18: Centro de Control➤ Edificio 19: Base Torre➤ Edificio 20: Centro de transformación

Tabla 1: Edificios que componen la Unidad de Preventivos

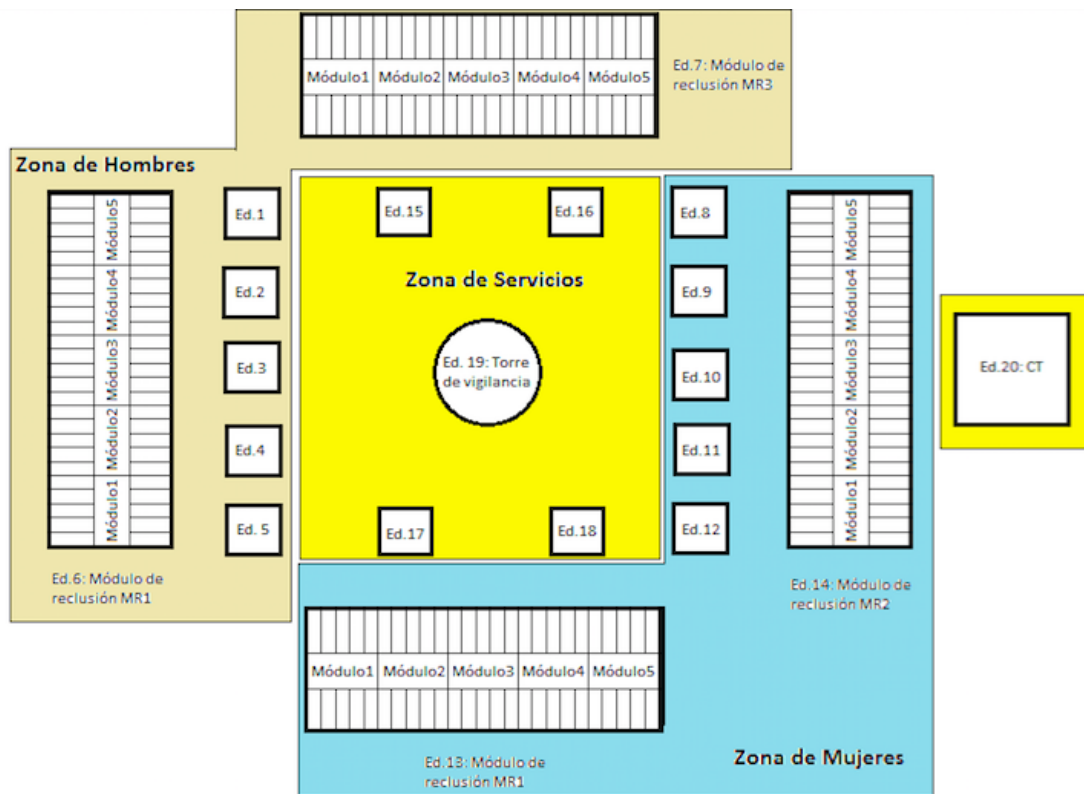


Figura 2: Delimitación de las tres Zonas existentes en la Unidad de Preventivos.

La instalación eléctrica de la Unidad de Preventivos está formado por:

- Un Cuadro General de Baja Tensión (CGBT), ubicado en un edificio independiente (edificio 20), con dos acometidas independientes de red proveniente de sendos transformadores MT/BT y una tercera acometida proveniente de un grupo electrógeno.
- 3 cuadros de distribución (cuadros primarios), ubicados también en el edificio 20, que son los que hacen una clara separación de la Unidad de Preventivos en tres zonas: Zona de Hombre, Zona de Mujeres y Zona de Servicios. El Cuadro General de Baja Tensión es el que da suministro a estos cuadros.
- 6 cuadros secundarios, ubicados en aquellos edificios donde mayor demanda de potencia se necesita. Sirven de unión entre los subcuadros existentes en edificios/módulos con los tres cuadros de distribución de cada zona.
- 36 subcuadros (cuadros terciarios), los cuales están alimentados desde los cuadros secundarios correspondientes a cada una de las Zonas de la Unidad de Preventivos.

El Cuadro General de Baja Tensión está alimentado por **dos transformadores de 15.000/400 V, 800kVA en paralelo** que no van a ser objeto de estudio en este trabajo. La tensión de cortocircuito porcentual de cada uno de estos transformadores es del 6%. También hay un tercer transformador idéntico a los otros dos que es el de reserva, servirá de apoyo en el caso de fallo de uno de suministro.

Del Cuadro General de Baja Tensión salen dos líneas a cada uno de los cuadros de distribución, una proveniente del secundario de los mencionados transformadores y otra proveniente del Grupo Electrógeno.

De los cuadros de distribución llamados Zona de Hombre y Zona de Mujeres salen dos líneas independientes (red y grupo) para alimentar los seis cuadros secundarios. De cada uno de los cuadros secundarios y del cuadro llamado Zona de Servicios, salen tres líneas independientes para alimentar los subcuadros, que darán servicio a todas las áreas existentes en la Unidad de Preventivos. Esas líneas independientes corresponden a alumbrado, fuerza y grupo electrógeno. En la Figura 3 se puede ver el esquema de la instalación, que se dibuja en una mayor escala en el apartado 9. Planos.

La instalación es trifásica hasta los cuadros terciarios, a partir de ellos la instalación es monofásica, pero las cargas se reparten de la manera más equilibrada posible entre las tres fases.

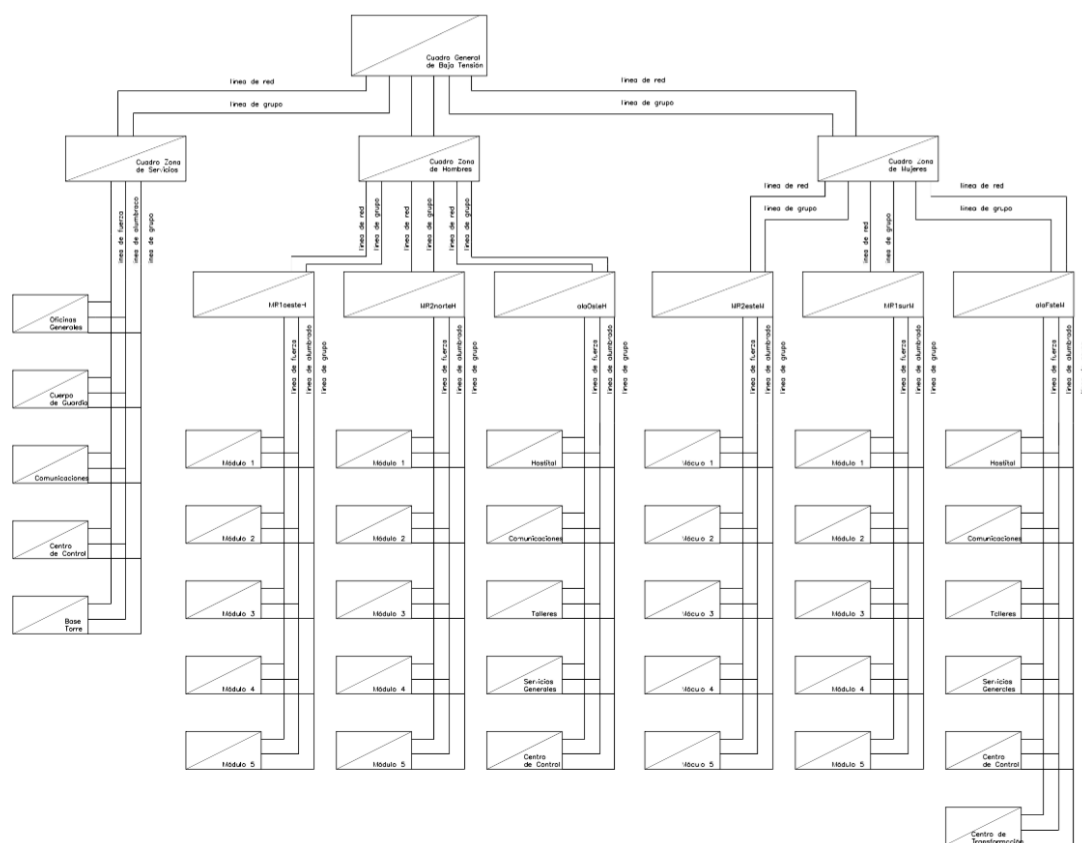


Figura 3: Esquema de la instalación eléctrica de la Unidad de Preventivos

En las tablas: Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6 se muestran las distancias existentes entre cada uno de los cuadros, así como las canalizaciones empleadas para llevar los conductores.

Cuadros	Distancia (m)	Canalización
CGBT - Cuadro Zona Hombres	3	En bandeja perforada
CGBT - Cuadro Zona Mujeres	3	En bandeja perforada
CGBT- Cuadro Zona de Servicios	3	En bandeja perforada

Tabla 2: Líneas que unen el CGBT con cada uno de los cuadros de distribución de cada zona

Cuadros	Distancia (m)	Canalización
Cuadro Zona Hombres – Cuadro MR1oesteH	375	Subterráneas bajo tubo
Cuadro Zona Hombres – Cuadro MR2norteH	200	Subterráneas bajo tubo
Cuadro Zona Hombres – Cuadro edificios alaOesteH	300	Subterráneas bajo tubo
Cuadro Zona Mujeres – Cuadro MR1surM	200	Subterráneas bajo tubo
Cuadro Zona Mujeres – Cuadro MR2esteM	55	Subterráneas bajo tubo
Cuadro Zona Mujeres – Cuadro edificios alaEsteM	100	Subterráneas bajo tubo

Tabla 3: Líneas que unen los cuadro de distribución (Zona de Hombres y Zona de Mujeres) con los cuadros secundarios

Cuadros	Distancia (m)	Canalización
Cuadro Zona Servicios – Cuadro Oficinas Generales	220	Subterráneas bajo tubo
Cuadro Zona Servicios – Cuadro Cuerpo de Guardia	150	Subterráneas bajo tubo
Cuadro Zona Servicios – Cuadro Comunicaciones	220	Subterráneas bajo tubo

Cuadro Zona Servicios – Cuadro Centro de control	150	Subterráneas bajo tubo
Cuadro Zona Servicios – Cuadro Torre de Vigilancia	175	Subterráneas bajo tubo

Tabla 4: Líneas que unen el cuadro de distribución, Zona de Servicio, con los subcuadros pertenecientes a dicha zona

Cuadros	Distancia (m)	Canalización
Cuadro MR2esteM - Cuadro Módulo 1	30	En tubos en el interior de una pared térmicamente aislante
Cuadro MR2esteM - Cuadro Módulo 2	20	En tubos en el interior de una pared térmicamente aislante
Cuadro MR2esteM - Cuadro Módulo 3	2	En tubos en el interior de una pared térmicamente aislante
Cuadro MR2esteM - Cuadro Módulo 4	20	En tubos en el interior de una pared térmicamente aislante
Cuadro MR2esteM - Cuadro Módulo 5	30	En tubos en el interior de una pared térmicamente aislante
Cuadro MR2esteM - Centro de Transformación	50	Subterráneas bajo tubo
Cuadro MR1surM - Cuadro Módulo 1	30	En tubos en el interior de una pared térmicamente aislante
Cuadro MR1surM - Cuadro Módulo 2	20	En tubos en el interior de una pared térmicamente aislante
Cuadro MR1surM - Cuadro Módulo 3	2	En tubos en el interior de una pared térmicamente aislante
Cuadro MR1surM - Cuadro Módulo 4	20	En tubos en el interior de una pared térmicamente aislante
Cuadro MR1surM - Cuadro Módulo 5	30	En tubos en el interior de una pared térmicamente aislante
Cuadro alaEsteM - Cuadro Hospital	200	Subterráneas bajo tubo

Cuadro alaEsteM – Cuadro Comunicaciones	150	Subterráneas bajo tubo
Cuadro alaEsteM– Cuadro Taller	100	Subterráneas bajo tubo
Cuadro alaEsteM – Cuadro Servicios Generales	50	Subterráneas bajo tubo
Cuadro alaEsteM – Cuadro Centro de control	2	En tubos en el interior de una pared térmicamente aislante

Tabla 5: Líneas que unen los cuadros secundarios pertenecientes a la Zona de Mujeres con los subcuadros existentes en cada módulo y edificio de dicha zona

Cuadros	Distancia (m)	Canalización
Cuadro MR2norteH – Cuadro Módulo 1	30	En tubos en el interior de una pared térmicamente aislante
Cuadro MR2norteH – Cuadro Módulo 2	20	En tubos en el interior de una pared térmicamente aislante
Cuadro MR2norteH – Cuadro Módulo 3	5	En tubos en el interior de una pared térmicamente aislante
Cuadro MR2norteH – Cuadro Módulo 4	20	En tubos en el interior de una pared térmicamente aislante
Cuadro MR2norteH – Cuadro Módulo 5	30	En tubos en el interior de una pared térmicamente aislante
Cuadro MR1oesteH – Cuadro Módulo 1	30	En tubos en el interior de una pared térmicamente aislante
Cuadro MR1oesteH – Cuadro Módulo 2	20	En tubos en el interior de una pared térmicamente aislante
Cuadro MR1oesteH – Cuadro Módulo 3	2	En tubos en el interior de una pared térmicamente aislante
Cuadro MR1oesteH – Cuadro Módulo 4	20	En tubos en el interior de una pared térmicamente aislante
Cuadro MR1oesteH – Cuadro Módulo 5	30	En tubos en el interior de una pared térmicamente aislante

Cuadro alaOesteH - Cuadro Hospital	200	Subterráneas bajo tubo
Cuadro alaOesteH - Cuadro Comunicaciones	150	Subterráneas bajo tubo
Cuadro alaOesteH - Cuadro Taller	100	Subterráneas bajo tubo
Cuadro alaOesteH - Cuadro Servicios Generales	50	Subterráneas bajo tubo
Cuadro alaOesteH - Cuadro Centro de Control	2	En tubos en el interior de una pared térmicamente aislante

Tabla 6: Líneas que unen los cuadros secundarios pertenecientes a la Zona de Hombres con los subcuadros existentes en cada módulo y edificio de dicha zona

2.2. Comunicación entre Cuadro de Conmutación del Grupo Electrónico (CCGE) y cargas críticas

Al centro penitenciario le suministra energía eléctrica una sola línea a la tensión de 20 kV, para transformar esta tensión a 400 V. Posee tres transformadores de 20/0,4 kV, 800 KVA que están conectados al CGBT, de los cuales uno de ellos es de reserva y los otros dos tienen un funcionamiento normal en paralelo. Además, para prever la pérdida de suministro por un fallo en la línea de alimentación, se dispondrá de un Grupo Electrónico de 400 V y 180 kVA para alimentar únicamente a las cargas definidas como críticas.

Los cuadros físicamente son modulares tanto en la definición eléctrica como mecánica, conforme a la norma IEC 61439-1/-2, tensión de aislamiento 1000 V y un grado de protección IP 30.

El Grupo Electrónico es fijo e insonorizado sobre bancada de funcionamiento automático, trifásico de 230/400 V de tensión, de 180 kVA de potencia en emergencia, compuesto por alternador sin escobillas de 50 Hz de frecuencia; motor diésel de 1500 r.p.m., con regulador de tensión, refrigerado por agua, con silenciador y depósito de combustible.

- Funcionamiento del Grupo Electrónico: Cuadro de alimentación de Cargas Críticas y de conmutación automática con interruptores de accionamiento automático.

El Grupo está dotado de una conmutación automática, que arranca el grupo cuando detecta mediante un relé (27) de mínima tensión que la tensión del suministro principal ha descendido a menos del 80 % de la tensión nominal.

Este cuadro dispone de un relé de conmutación automática de redes y dos interruptores automáticos, uno para conectar el grupo (interruptor de conexión), Normalmente Abierto, y otro para acoplar el Cuadro de Conmutación del Grupo Electrónico al Cuadro General de Baja Tensión, Normalmente Cerrado (interruptor de acoplamiento). Además parten de este cuadro las diferentes alimentaciones a los embarrados de cargas críticas de los cuadros secundarios.

Cuando se detecta una mínima tensión en el Cuadro General de Baja Tensión, se envía una orden de arranque al Grupo, posteriormente se manda una señal de apertura al interruptor de acoplamiento y seguidamente se envía una señal de cerrar el interruptor de conexión del grupo, con lo que quedaría el Grupo Electrónico alimentando las cargas críticas.

Cuando la tensión del suministro principal se normaliza, y así es detectado por el relé (27) de mínima tensión, se da orden de parar el Grupo Electrónico y abrir el interruptor de conexión del Grupo, enviando seguidamente orden de cierre al interruptor de acoplamiento, volviendo a la situación inicial.

2.3. Estimación de la demanda

En la Tabla 7 se detalla la previsión de las cargas en cada módulo y en cada edificio. Es la potencia total, suma de consumos de fuerza y consumos de alumbrado.

POTENCIA DEMANDADA 640kW	Zona de Mujeres 302kW	Ala este Mujer (35,5kW)	Ed.01	Hospital	12kW
			Ed.02	Comunicaciones	7,5kW
			Ed.03	Talleres	5kW
			Ed.04	Servicios Generales	5kW
			Ed.05	Centro de Control	6kW
			Ed.06	Módulo de Reclusión - MR1	150kW
			Ed.07	Módulo de Reclusión - MR2	150kW
	Zona de Hombres 302kW	Ala oeste Hombre (35,5kW)	Ed.08	Hospital	12kW
			Ed.09	Comunicaciones	7,5kW
			Ed.10	Talleres	5kW
			Ed.11	Servicios Generales	5kW
			Ed.12	Centro de Control	6kW
			Ed.13	Módulo de Reclusión - MR1	150kW
			Ed.14	Módulo de Reclusión - MR2	150kW
	Zona de Servicios 36kW		Ed.15	Oficinas Generales	8,5kW
			Ed.16	Cuerpo de Guardia	5kW
			Ed.17	Comunicaciones	7,5kW
			Ed.18	Centro de Control	8kW
			Ed.19	Base Torre	11kW
			Ed.20	Centro de Transformación	4kW

Tabla 7: Potencia total demandada por la Unidad Preventiva

Como se mencionó anteriormente en la descripción de las instalaciones, la Unidad de Preventivos está compuesta por 400 celdas distribuidas en 20 módulos. Estos 20 módulos están agrupados en cuatro edificios (Zona Hombres: MR1 y MR2; y Zona Mujeres: MR1 y MR2) de 2 plantas. Cada módulo está compuesto por 20 celdas correspondientes a: 10 celdas del piso de abajo, más 10 celdas del piso de arriba. Se ha considerado un coeficiente de simultaneidad del 90%, ya que no en todas las celdas se está consumiendo la máxima potencia simultáneamente. El consumo en iluminación se muestra en la Tabla 15 del apartado 3.

El Centro de Transformación tiene una pequeña potencia de alumbrado y unas cuantas tomas de corriente. Dado que este Centro de Transformación no está energizado y sólo se prevé su utilización para mantenimiento o emergencias, su potencia no se tendrá en cuenta en total de la instalación. Su utilización es muy puntual, por lo que tiene un factor de simultaneidad casi despreciable, 0,25.

Como se desprende de la Tabla 7, la potencia total demandada es de 640 kW (teniendo en cuenta el coeficiente de simultaneidad). Si se admite que el factor de potencia de la instalación es de 0,88 la potencia aparente demandada es de 727 kVA, lo cual supone que bastaría con uno sólo de los transformadores de 800 kVA para abastecer la demanda. A pesar de ello, se ha considerado que la forma de trabajo habitual es con los dos transformadores de 800 kVA en paralelo por dos razones: en primer lugar por seguridad, ya que la línea de alimentación del primario de cada transformador proviene de una subestación diferente, y en segundo lugar para disminuir la intensidad que aporta cada transformador y con ello reducir la caída de tensión.

3. SELECCIÓN DE CABLES

3.1. Normativa aplicable

El objetivo de este apartado es establecer los criterios de diseño para el cálculo de cables antes de seleccionar las secciones mínimas necesarias de los cables eléctricos aislados.

Como referencias tomamos la siguiente normativa:

REBT	Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y sus Instrucciones Técnicas complementarias, así como la Guía Técnica de Aplicación del REBT
UNE 21022	Conductores de cables aislados
UNE 21123	Cables de transporte de energía aislados con dieléctricos secos extruidos para tensiones nominales de 1 kV a 30 kV
UNE 21145	Guía sobre la aplicación de los límites de temperatura de cortocircuito de los cables eléctricos de tensión nominal no superior a 0,6 / 1 kV
UNE 20460	Instalaciones eléctricas en edificios (= IEC 60364)

Tabla 8: Reglamento y normas aplicadas para selección de cables

Más la normativa propia de la Comunidad Autónoma en la que se encuentre el centro penitenciario.

3. 2.Teoría básica

3.2.1. Criterios

Los aspectos imprescindibles que deben seguirse en cualquier Instalación eléctrica para la selección de un cable son la **continuidad en el servicio al explotarlo, la calidad de suministro a los equipos de alimentación y la seguridad de las personas.**

De aquí provienen siguientes consideraciones a tener en cuenta en las Instalaciones interiores:

- Potencia de los receptores
- Características de la alimentación
- Longitud de la línea
- Tipo de cable

Para un mayor cumplimiento de los aspectos anteriores, es indispensable tener en cuenta el calentamiento del conductor y la caída de tensión hasta el punto de suministro.

En la selección del conductor, este debe de cumplir tres *criterios* simultáneamente:

- Soportar la máxima corriente en régimen permanente sin un calentamiento excesivo.
- Soportar la máxima corriente de cortocircuito sin un calentamiento excesivo hasta que actúen las protecciones.
- La caída de tensión en los conductores debe ser admisible para las cargas a las que alimentan.

Por lo que se calculará una sección para cada uno de los anteriores criterios, y la sección determinante será la mayor entre las tres secciones obtenidas.

3.2.2. Calentamiento

3.2.2.1. Generalidades

Como es sabido cuando una corriente recorre un cable este se calienta. El calor disipado a través de la superficie del cable es originado por el efecto Joule en el mismo, y es directamente proporcional al cuadrado de la intensidad que recorre el cable.

$$P = I^2 \cdot R$$

Este calor disipado se transmite por conducción, convección y radiación al ambiente, y la temperatura final que se alcanza dependerá de la temperatura ambiente, de la conducción térmica del aislante, elementos circundantes del conductor, tipo de canalización, etc. Esta temperatura no debe exceder la máxima admisible por el aislamiento, que puede ser termoplástico (temperatura máxima admisible en servicio continuo 70°C) o termoestable (temperatura máxima admisible en servicio continuo 90°C).

Según las normas UNE 20435, UNE 21145 y el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT), el criterio de calentamiento va encaminado a asegurar y prolongar la vida útil de los conductores haciendo que no sobrepasen las temperaturas máximas admisibles para cada tipo de aislamiento tanto en servicio continuo como en el caso de cortocircuitos. Estas temperaturas son:

	PVC	EPR	XLPE
En servicio permanente (°C)	70-75	90	90
En cortocircuito (°C hasta 5s)	160	250	250

Tabla 9: Temperaturas máximas admisibles en los conductores dependiendo del tipo de aislamiento

También el Reglamento establece las máximas intensidades admisibles en régimen permanente para cada conductor dependiendo del material del conductor (aluminio o cobre), tipo de aislamiento, sección del cable, configuraciones (cable tripolar, cables unipolares) y tipo de instalación (aérea, subterránea, de interior). Estos valores de intensidad máxima admisible han de corregirse en función de las condiciones de instalación. La forma de corregirla depende de si el conductor es aéreo, subterráneo, de interior o si va por galerías.

En este Trabajo Fin de Grado sólo se describirá la selección de conductores subterráneos e interiores, ya que por motivos de seguridad en una cárcel no se utilizan líneas aéreas.

3.2.2.2. Máxima corriente en régimen permanente

El Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión dispone de varias Instrucciones Técnicas Complementarias dependiendo del tipo de Instalación Eléctrica que se desee diseñar:

Rede aéreas	ITC-BT-06
Redes subterráneas	ITC-BT-07
Instalaciones de enlace. Línea general de alimentación	ITC-BT-14-19
Instalaciones de enlace. Derivaciones individuales	ITC-BT-15-19
Instalaciones interiores	ITC-BT-19

Tabla 10: Instrucciones Técnicas Complementarias de las que dispone el REBT

Estas ITC proporcionan para cada sección de cable unos valores máximos de la intensidad en régimen permanente en condiciones determinadas que hay que modificar mediante una serie de factores de corrección.

En nuestro caso, el trabajo se centra especialmente en líneas subterráneas e instalaciones interiores, por lo que aplicaremos los factores correctores correspondientes a las tablas de las ITC-BT-07, ITC-BT-19 y ITC-BT-28 (Instalaciones en locales de pública concurrencia).

La sección mínima del conductor será aquella cuyo valor de intensidad máximo admisible (corregida con los factores) esté por encima del valor de la corriente nominal de la carga o cargas a alimentar ($I_n \leq I_{adm}$).

La ecuación a utilizar para el cálculo de la corriente de servicio continuo (corriente nominal) es:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi \rightarrow I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi}$$

Como se mencionó anteriormente, este trabajo tratará instalaciones subterráneas e interiores, por lo que, habrá que hacer una clara distinción en la forma de calcular la máxima corriente admisible dependiendo del tipo de instalación, ya que en cada una de las instalaciones se utilizaran tablas diferentes correspondientes a cada tipo de instalación.

- **Instalaciones interiores**

La selección de los conductores de las instalaciones interiores viene recogida en las Instrucciones Técnicas Complementarias y Guías Técnicas de Aplicación (ITC-19, Guía BT-19, ITC-20, Guía BT-20, ITC-21 y Guía-BT-21) y en la norma UNE HD 60364-5-52 de diciembre de 2014. Además, al ser éste un local de pública concurrencia rige la Guía Técnica de Aplicación 28 (ITC-28 y Guía BT-28).

La corriente máxima admisible por el cable en **instalaciones interiores**, I_{adm} , depende de la canalización. La norma UNE HD 60364-5-52 muestra 73 tipos diferentes de canalizaciones de los cables, y según la capacidad de refrigeración de estos cables, a esos 73 tipos se asigna una serie de métodos de instalación de referencia: A1, A2, B1, B2, C, D1, D2, E, F, G (columna 2 de la Figura 4). En la Figura 4 se muestra un fragmento de esta clasificación.

Métodos de instalación de referencia

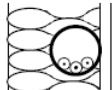
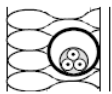



Instalación de referencia		Tabla y columna							Factor de temperatura ambiente	Factor de reducción de agrupamiento
		Intensidad admisible para los circuitos simples								
		Aislamiento PVC		Aislamiento XLPE o EPR		Aislamiento mineral				
		Número de conductores								
		2	3	2	3	1, 2 y 3				
1	2	3	4	5	6	7	8	9		
 habitación (local)	A1	52-C1 Col. 2	52-C3 Col. 2	52-C2 Col. 2	52-C4 Col. 2	–	52-D1	52-E1		
 habitación (local)	A2	52-C1 Col. 3	52-C3 Col. 3	52-C2 Col. 3	52-C4 Col. 3	–	52-D1	52-E1		
	B1	52-C1 Col. 4	52-C3 Col. 4	52-C2 Col. 4	52-C4 Col. 4	–	52-D1	52-E1		
	B2	52-C1 Col. 5	52-C3 Col. 5	52-C2 Col. 5	52-C4 Col. 5	–	52-D1	52-E1		
	C	52-C1 Col. 6	52-C3 Col. 6	52-C2 Col. 6	52-C4 Col. 6	Cubierta 70 °C 52-C5 Cubierta 105 °C 52-C6	52-D1	52-E1		

Figura 4: Ejemplo de la tabla extraída de la norma UNE HD 60364-5-52

La misma tabla de la mencionada norma UNE (Figura 4) nos deriva a unas nuevas tablas (en función del número de conductores que discurren por la canalización y del tipo de aislamiento, termoplástico o termoestable) en las que, con el material de conductor (Cu o Al) y el número de conductores en la canalización obtenemos la intensidad admisible, I_{adm} y su sección correspondiente. Un ejemplo de estas nuevas tablas se muestra en la Figura 5.

**Tabla B.52.5 – Corrientes admisibles, en amperios, para los métodos de la tabla B.52.1 –
Cables aislados con XLPE/EPR, tres conductores cargados, cobre o aluminio –
Temperatura del conductor: 90 °C, temperatura ambiente 30 °C en el aire, 20 °C en el terreno**








Sección nominal del conductor mm ²	Método de instalación de la tabla B.52.1						
	A1	A2	B1	B2	C	D	D2
							
1	2	3	4	5	6	7	8
Cobre							
1,5	17	16,5	20	19,5	22	21	23
2,5	23	22	28	26	30	28	30
4	31	30	37	35	40	36	39
6	40	38	48	44	52	44	49
10	54	51	66	60	71	58	65
16	73	68	88	80	96	75	84
25	95	89	117	105	119	96	107
35	117	109	144	128	147	115	129
50	141	130	175	154	179	135	153
70	179	164	222	194	229	167	188
95	216	197	269	233	278	197	226
120	249	227	312	268	322	223	257
150	285	259	342	300	371	251	287
185	324	295	384	340	424	281	324
240	380	346	450	398	500	324	375
300	435	396	514	455	576	365	419

Figura 5: UNE HD 60364-5-52, Intensidad admisible

Sobre esta I_{adm} habría que aplicar los factores de corrección en función del tipo de instalación que estemos diseñando. Los factores de corrección a tener en cuenta son la temperatura ambiente, agrupación de cables o circuitos. Las mismas tablas mostradas en la Figura 4 indican (para cada forma de canalización) en qué tabla se debe buscar el factor corrector en función de la temperatura ambiente y el factor de reducción por agrupamiento...

- **Instalaciones subterráneas**

La intensidad admisible, I_{adm} , en instalaciones subterráneas depende de:

- Tipo de aislamiento
- Material del conductor (aluminio o cobre)
- Sección del cable
- Cable unipolar, tripolar o tetrapolar
- Tipo de enterramiento (en galerías, bajo tubo o directamente enterrados)
- Número de cables en la misma zanja
- Temperatura del terreno
- Profundidad del terreno
- Resistividad térmica del terreno

De forma semejante a como ocurría en líneas aéreas, en **instalaciones subterráneas** la ITC-BT-07 del Reglamento proporciona tablas con la corriente máxima permanente admisible en función de la sección dependiendo del tipo de cable (unipolar o tripolar), del material conductor (cobre o aluminio) y del tipo de aislamiento (EPR, XLPE, PVC). Un ejemplo de estas tablas se muestra en la Figura 6.

Intensidad máxima admisible, en amperios, para cables con conductores de cobre en instalación enterrada (servicio permanente).



SECCIÓN NOMINAL mm ²	Terna de cables unipolares (1) (2)			1 cable tripolar o tetrapolar (3)		
						
	TIPO DE AISLAMIENTO					
	XLPE	EPR	PVC	XLPE	EPR	PVC
6	72	70	63	66	64	56
10	96	94	85	88	85	75
16	125	120	110	115	110	97
25	160	155	140	150	140	125
35	190	185	170	180	175	150
50	230	225	200	215	205	180
70	280	270	245	260	250	220
95	335	325	290	310	305	265
120	380	375	335	355	350	305
150	425	415	370	400	390	340
185	480	470	420	450	440	385
240	550	540	485	520	505	445
300	620	610	550	590	565	505
400	705	690	615	665	645	570
500	790	775	685	-	-	-
630	885	870	770	-	-	-

Figura 6: Tabla 5 de la ITC-BT-07. Intensidad máxima admisible para conductores de cobre

La ITC también da unas tablas con factores de corrección a tener en cuenta las condiciones de instalación (profundidad de enterramiento, resistividad térmica del terreno y temperatura del mismo) y para el caso de que discurran varias ternas de cables por una misma zanja. Además de lo anterior se debe utilizar un factor corrector

de 0,8 si el conductor está enterrado bajo tubo. Las siguientes figuras: Figura 7, Figura 8, Figura 9 y Figura 10 muestran este tipo de tablas.

Tabla 6. Factor de corrección F , para temperatura del terreno distinto de 25°C

Temperatura de servicio Θ_s (°C)	Temperatura del terreno, Θ_t , en °C								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
90	1.11	1.07	1.04	1	0.96	0.92	0.88	0.83	0.78
70	1.15	1.11	1.05	1	0.94	0.88	0.82	0.75	0.67

El factor de corrección para otras temperaturas del terreno, distintas de las de la tabla, será:

$$F = \sqrt{\frac{\theta_s - \theta_t}{\theta_s - 25}}$$

Figura 7: Tabla 6 de la ITC-BT-07, factor de corrección para distintas temperaturas

Tabla 7. Factor de corrección para resistividad térmica del terreno distinta de 1 K.m/W.

Tipo de cable	Resistividad térmica del terreno, en K.m/W										
	0.80	0.85	0.90	1	1.10	1.20	1.40	1.65	2.00	2.50	2.80
Unipolar	1.09	1.06	1.04	1	0.96	0.93	0.87	0.81	0.75	0.68	0.66
Tripolar	1.07	1.05	1.03	1	0.97	0.94	0.89	0.84	0.78	0.71	0.69

Figura 8: Tabla 7 de la ITC-BT-07, factor de corrección para diferente resistividad térmica del terreno

Tabla 8. Factor de corrección para agrupaciones de cables trifásicos o ternas de cables unipolares

Factor de corrección								
Separación entre los cables o ternas	Número de cables o ternas de la zanja							
	2	3	4	5	6	8	10	12
D=0 (en contacto)	0,80	0,70	0,64	0,60	0,56	0,53	0,50	0,47
d= 0,07 m	0,85	0,75	0,68	0,64	0,6	0,56	0,53	0,50
d= 0,10 m	0,85	0,76	0,69	0,65	0,62	0,58	0,55	0,53
d= 0,15 m	0,87	0,77	0,72	0,68	0,66	0,62	0,59	0,57
d= 0,20 m	0,88	0,79	0,74	0,70	0,68	0,64	0,62	0,60
d= 0,25 m	0,89	0,80	0,76	0,72	0,70	0,66	0,64	0,62

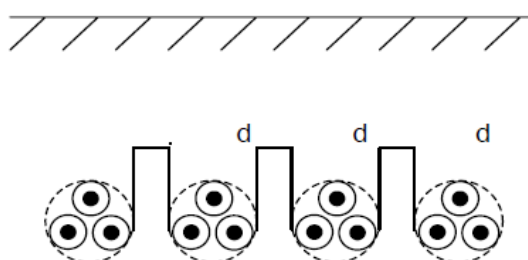


Figura 9: Tabla 8 de la ITC-BT-07, factor de corrección para agrupaciones de cables

Tabla 9. Factores de corrección para diferentes profundidades de instalación

Profundidad de instalación (m)	0,4	0,5	0,6	0,7	0,80	0,90	1,00	1,20
Factor de corrección	1,03	1,02	1,01	1	0,99	0,98	0,97	0,95

Figura 10: Tabla 9 de la ITC-BT-07, factor de corrección para diferente profundidades

La mencionada ITC también indica la forma de proceder para el cálculo de cables que discurran por galerías.

3.2.2.3. Máxima corriente de cortocircuito

Un cortocircuito produce corrientes elevadas y peligrosas para la instalación, reduciendo la vida útil de esta. Por ello, las protecciones deben actuar sobre el cortocircuito en un tiempo muy breve para que las temperaturas en los cables permanezcan en sus límites aceptables. En el caso contrario, se empieza deteriorar el aislamiento, conductor y otros elementos. Las temperaturas admisibles para un cable en transitorios de duración muy reducida (inferiores a 5 s) son superiores a las que se admiten en régimen permanente (160 °C para el caso de aislamientos termoplásticos y 250 °C para aislamientos termoestables).

Para la selección de la mínima sección del cable mediante el criterio de cortocircuito, previamente es necesario conocer:

- La corriente de cortocircuito recorrida.
- El tiempo máximo que va a durar el cortocircuito (que depende de si debe haber selectividad entre protecciones).
- El material conductor y su aislante.

En instalaciones de BT el criterio de cortocircuito no suele ser determinante para la elección de la sección del cable ya que cuanto más lejos se produzca la falta del Centro de Transformación, mayor es la impedancia del circuito, por tanto, menor es la corriente de cortocircuito. Además las protecciones de sobre intensidad limitarán la duración de cortocircuito actuando en tiempos muy breves.

El peor cortocircuito posible será el cortocircuito trifásico al principio del cable cuya sección se desea calcular. El esquema de la instalación se muestra en la Figura 11.

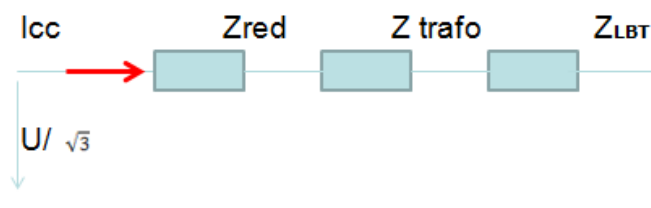


Figura 11: Cortocircuito más peligroso, trifásico

Donde Z_{LBT} es la impedancia de las líneas que preceden al conductor que se está calculando.

La corriente de cortocircuito trifásico valdrá:

$$I_{cc} = \frac{U/\sqrt{3}}{Z_{total}}$$

Siendo:

U = tensión de red

Z_{total} = suma de todas las impedancias en serie que intervienen en la rama del circuito que estamos calculando

En ocasiones no se conoce la potencia de cortocircuito de la red, S_{cc} , por eso, en estos casos el Anexo 3 de la Guía Técnica de Aplicación del REBT nos ofrece una forma aproximada de calcular la I_{cc} , y se mediante la siguiente ecuación:

$$I_{cc} = \frac{0,8 \cdot U}{R}$$

Siendo:

U = tensión de alimentación FN (230V)

R = resistencia del conductor entre el punto donde se calcula el cortocircuito y el arranque de la línea. Se obtiene multiplicando la resistencia específica r (Ω/m) por la longitud L

La normativa UNE 20460 considera que durante el tiempo que tardan las protecciones en actuar el calor generado por efecto Joule no tiene tiempo de evacuarse al ambiente, esto es, que el proceso es adiabático. Con ello se considera la corriente admisible:

$$I_{CC \max adm}^2 t \leq K^2 S^2$$

Siendo:

$I^2 t$ = energía específica pasante durante el cortocircuito (en $A^2 s$)

$K^2 S^2$ = capacidad térmica del cable (hasta 5 s)

K = coeficiente según el material del cable (ver la tabla a continuación)

S = sección del cable en mm^2 elegida con el primer criterio de máxima corriente en régimen permanente

Por último, una vez que se disponga de los valores de la corriente de cortocircuito de los cables, será necesario comprobar (de acuerdo con lo establecido en la norma) que se cumple la ecuación anterior. Los equipos de protección despejarán el cortocircuito en un determinado tiempo t . Con ambos valores de I_{cc} y t se comprueba si la sección escogida es la correcta.

Con esta ecuación nos aseguramos que no se alcanzará la máxima temperatura permitida por el aislamiento (Tabla 9 indicada anteriormente) durante el cortocircuito de duración inferior a 5 s (250°C para XLPE / EPR y 160°C para PVC).

En el caso de que no se cumpla la condición, habrá que cambiar la sección de cable de tal forma que:

$$I_{CC} < I_{CC \text{ max adm}}$$

Por lo que la nueva sección de cable se hallaría de la siguiente forma:

$$S = \frac{I_{CC \text{ max adm}}}{K} \cdot \sqrt{t}$$

Tabla 771.19.II – Valores de k para los conductores de línea

k							
Aislación de los conductores		PVC ≤ 300 mm ²	PVC > 300 mm ²	EPR / XLPE	Goma 60 °C	Mineral	
						PVC	Desnudo
Temperatura inicial °C		70	70	90	60	70	105
Temperatura final °C		160	140	250	200	160	250
Material conductor	Cobre	115	103	143	141	115	135 / 115 ^a
	Aluminio	76	68	94	93	--	93
	Uniones estañadas en conductor de cobre	115	--	--	--	--	--

^a Este valor debe ser empleado para cables desnudos expuestos al contacto

^a Este valor debe ser empleado para cables desnudos expuestos al contacto

Figura 12: Valores de K (coeficiente según el material del cable) para los conductores de línea

En el caso de los **cables subterráneos** el procedimiento es semejante pero no igual. Con los valores de la intensidad de cortocircuito y tiempo de duración del cortocircuito se entra en las tablas que nos proporciona el ITC-BT y se obtiene la máxima densidad de corriente en el conductor durante el cortocircuito. Con dicha densidad de corriente se obtiene la sección mínima de cobre para que la temperatura no sobrepase el valor estipulado.

Tabla 16. Densidad de corriente de cortocircuito, en A/mm², para conductores de aluminio.

Tipo de aislamiento	Duración del cortocircuito, en segundos								
	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
XLPE y EPR	294	203	170	132	93	76	66	59	54
PVC									
Sección \leq 300 mm ²	237	168	137	106	75	61	53	47	43
Sección $>$ 300 mm ²	211	150	122	94	67	54	47	42	39

Tabla 17 Densidad de corriente de cortocircuito, en A/mm², para conductores de cobre.

Tipo de aislamiento	Duración del cortocircuito, en segundos								
	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
XLPE y EPR	449	318	259	201	142	116	100	90	82
PVC									
Sección \leq 300 mm ²	364	257	210	163	115	94	81	73	66
Sección $>$ 300 mm ²	322	228	186	144	102	83	72	64	59

Figura 13: Máxima densidad de corriente en el conductor durante el cortocircuito según ITC-BT-07

3.2.2.4 Cálculo de la impedancia de los cables

Mencionado lo anterior, nos detendremos ahora en el cálculo de la impedancia de los cables, ya que esta influye en la corriente de cortocircuito y en la caída de tensión:

La fórmula de la resistencia de un cable es:

$$R = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{l}{S}$$

Siendo: l , longitud de la línea; S , sección del cable elegido; σ , conductividad del material (véase la Tabla 11 para los valores de σ).

PVC

XLPE/EPR

Material	C ₂₀	C ₄₀	C ₇₀	C ₉₀
Cobre	56	52	48	44
Aluminio	35	32	30	28
Temperatura	20 °C	40 °C	70 °C	90 °C

Tabla 11: Conductividad térmica de los materiales a distintas temperaturas. σ

Para el cálculo de la reactancia de los cables en instalaciones **interiores**, se puede ver en las siguientes tablas que para cables de sección $\leq 150 \text{ mm}^2$ se desprecia la reactancia por ser esta muy pequeña. Para secciones mayores a 150 mm^2 , la reactancia se toma como un cierto porcentaje de la resistencia, como se muestra en la Tabla 12.

Sección	Reactancia inductiva (X)
$S \leq 120 \text{ mm}^2$	$X \cong 0$
$S = 150 \text{ mm}^2$	$X \cong 0,15 R$
$S = 185 \text{ mm}^2$	$X \cong 0,20 R$
$S = 240 \text{ mm}^2$	$X \cong 0,25 R$

Tabla 12: Valores de $X'(\Omega/\text{km})$ para conductores de líneas interiores (Tomada del Anexo 2 de la Guía Técnica de Aplicación del REBT)

Para el cálculo de la reactancia de los cables **subterráneos** se toman los valores de reactancia de la Tabla 13.

Sección nominal (mm^2)	Reactancia lineal (Ω/km)
50	0,093
95	0,083
150	0,081
150 (AS)	0,099
240	0,079
240 (AS)	0,093

Tabla 13: Valores de $X'(\Omega/\text{km})$ para conductores subterráneos

3.2.2.5. Máxima caída de tensión

El cálculo de caídas de tensión en una instalación eléctrica de Baja Tensión se debe realizar de acuerdo a lo indicado en el Anexo 2 de la Guía Técnica de Aplicación del REBT.

Para el cálculo de la caída de tensión se utiliza el esquema equivalente de una línea corta (inferior a 50 km). Véase en la Figura 14 su circuito equivalente con su diagrama vectorial correspondiente:

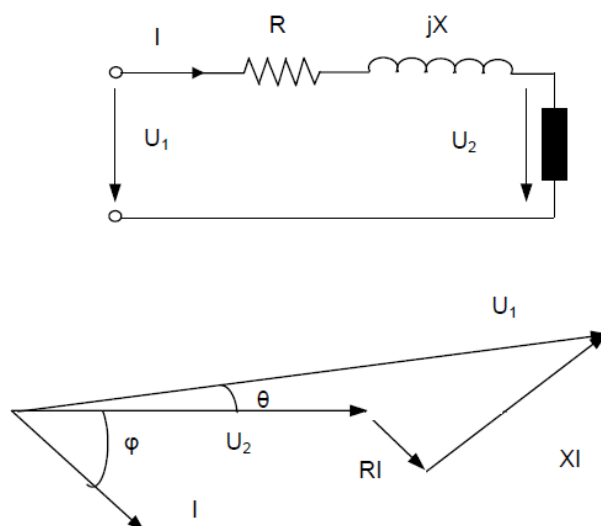


Figura 14: Circuito equivalente de una línea corta con su diagrama fasorial

Se puede considerar, de forma aproximada, que la caída de tensión coincide con la proyección de los fasores RI y XI sobre el fasor U_2 , de modo que la fórmula para obtener la caída de tensión en los cables es la siguiente:

$$\Delta U (\%) = \frac{n \times I \times l \times (R \cos \varphi + X \sin \varphi)}{U} \times 100$$

Siendo:

n :	$1\sqrt{3}$ para sistemas trifásicos, y 2 para sistemas monofásicos
$\Delta U(\%)$:	Caída de tensión en %
I :	Corriente nominal de la carga en A
l :	Longitud del cable en km
R :	Resistencia del cable en Ω/km (a la T máxima de servicio)
X :	Reactancia del cable en Ω/km
U :	Tensión nominal en V (caso de instalaciones trifásicas tensión de línea)
$\cos \varphi$:	Factor de potencia de la carga

En la Tabla 14 se indican las caídas de tensión máximas en los diferentes tramos de una instalación de acuerdo con el REBT (GUÍA-BT-19 y Anexo 3 de la Guía de Aplicación) en la misma tabla se indica la Instrucción Técnica Complementaria en la que se establece cada uno de los límites.

Líneas de distribución	Compañía distribuidora	Compañía distribuidora
Acometida	Compañía distribuidora	ITC-BT-11
Línea General de Alimentación (LGA)	Contadores centralizados: 0,5%	ITC-BT-14
	Contadores no centralizados 1%	
Derivación Individual (D.I.)	Contadores centralizados: 1%	ITC-BT-15
	Contadores no centralizados 0,5%	
	Cliente individual (no hay LGA): 1,5%	
Instalaciones Interiores	a) Viviendas 3%	ITC-BT-19
	b) Industrias y comercios:	
	* Alumbrado 3%	
	* Otros usos 5%	
	(Si hay C.T. propio a los valores anteriores se les suma 1,5%, resultando alumbrado 3+1,5=4,5%	
	Otros usos 5+1,5=6,5%)	
Alumbrado exterior	3%	ITC-BT-09

Tabla 14: Máximos valores de caída de tensión

Como origen de la instalación se suele establecer el secundario del transformador de distribución, por lo que, si tenemos varios cables unidos en ese tramo (desde el origen hasta el consumidor final) la caída de tensión es acumulativa.

También es habitual considerar depreciable la caída de tensión que puede haber entre el transformador y los Cuadros Generales de Baja Tensión si están situados juntos en la misma sala. Esto se debe a que la sección de los cables de alimentación queda definida por el criterio de la máxima corriente admisible (altas secciones, bajas distancias) con lo que aunque la corriente sea elevada la caída de tensión es reducida.

Por lo tanto, una vez conocida la sección de los cables (establecida anteriormente por el criterio la máxima corriente admisible en régimen permanente y comprobada con el criterio de cortocircuito), se calcula la caída de tensión en el cable con la carga máxima prevista.

3.3. Selección de los conductores de la instalación

3.3.1. Descripción del Libro Excel

La selección de los conductores de la instalación penitenciaria se ha realizado por medio de un Libro Excel desarrollado durante la realización del Trabajo Fin de Grado. Fue elaborada siguiendo los tres requisitos fundamentales para la selección adecuada del cable:

- La máxima corriente admisible debe estar por encima del valor de la corriente nominal de la carga alimentada.
- La caída de tensión máxima entre el origen de la instalación y cualquier punto de consumo no deberá superar el 3% para cargas de alumbrado y 5% para los demás usos.
- La máxima temperatura alcanzada por los conductores durante un cortocircuito no será mayor que los límites establecidos para su aislamiento (Tabla 9).

El objetivo de este Libro Excel es la selección de cables eléctricos elaborada para una serie de servicios preestablecidos: 400V y sistema de distribución tipo TT.

El libro se compone de nueve hojas:

1. **Inicio:** donde se encuentra la potencia total distribuida según la demandada de cada edificio/módulo.
2. **Datos de la instalación:** datos de partida: uniones entre los cuadros, longitudes entre ellos, tipo de canalización, potencia demandada, factor de potencia estimado, tensión nominal y corriente nominal.
3. **Al aire:** obtención de la sección de los cables que forman parte de las instalaciones interiores; dentro de éstas, las que pertenecen a conductores en bandeja perforada o empotrados en tubo.
4. **Subterráneos:** obtención de la sección de los cables que forman parte de las redes subterráneas enterradas bajo tubo.
5. **Caída de tensión:** cálculo de la caída de tensión en los conductores.
6. **Iccmax:** cálculo de la corriente de cortocircuito máxima alcanzada en los conductores.
7. **Resumen (1):** resumen para la primera parte (capítulo 3), el cual trata de la elección adecuada de la sección de los cables. En ella encontraremos datos como: el número de conductores, sección de los mismos, sus impedancias correspondientes, caída de tensión, y comparación entre la corriente de servicio frente a la corriente máxima admisible por el cable, y corriente de cortocircuito frente a la máxima corriente de cortocircuito admisible por el cable. Estas columnas comparativas de intensidades son las que nos indicarán de la correcta elección de sección del cable.

8. **Iccmin (IA):** cálculo de la corriente de cortocircuito mínima.
9. **Resumen (2):** al igual que la hoja “Resumen 1”, recoge los datos más importantes para la adecuada elección de interruptores automático; es decir, corriente nominal asignada y poder de corte. Esta hoja se describirá en más detalle en el capítulo 4.3. Selección de los diferentes interruptores automáticos.

3.3.1.1. Hoja: Inicio

Como se mencionó anteriormente, esta hoja contiene repartidas las potencias demandadas por cada carga que comprende la Unidad de Preventivos.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2				Ed.01	Hospital	12kW			
3				Ed.02	Comunicaciones	7,5kW			
4				Ed.03	Talleres	5kW			
5				Ed.04	Servicios Generales	5kW			
6				Ed.05	Centro de Control	6kW			
7				Ed.06	Módulo de Reclusión- MR1	150kW			
8				Ed.07	Módulo de Reclusión- MR2	150kW			
9	POTENCIA			Ed.08	Hospital	12kW			
10	TOTAL			Ed.09	Comunicaciones	7,5kW			
11	DEMANDA			Ed.10	Talleres	5kW			
12	DA 711kW			Ed.11	Servicios Generales	5kW			
13	* 0,9 =			Ed.12	Centro de Control	6kW			
14	640kW			Ed.13	Módulo de Reclusión- MR1	150kW			
15				Ed.14	Módulo de Reclusión- MR2	150kW			
16				Ed.15	Oficinas Generales	8,5kW			
17				Ed.16	Cuerpo de Guardia	5kW			
18				Ed.17	Comunicaciones	7,5kW			
19				Ed.18	Centro de Control	8kW			
20				Ed.19	Base Torre	11kW			
21				Ed.20	Centro de Transformación	4kW			
22									
23									
	Inicio	Datos de la instalación	Al aire	Subterráneos	Caída de tensión	Icc max	Resumen(1)	Icc min (IA)	

Figura 15: Extracto del Libro Excel: potencia demandada por las cargas

3.3.1.2. Hoja: Datos de partida

La hoja está compuesta por 8 columnas, de A a H, y 48 filas, en las cuales, como el nombre lo dice, encontraremos los datos de partida que cualquier instalación eléctrica necesita establecer para empezar la realización de los cálculos. Véase la Figura 16:

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2	UNIONES							
3	DE	A	LONGITUD (m)	TIPO	Potencia (kW)	cosφ	Un(V)	In (A)
4	Trafo	CGBT	5	bandeja perforada	640	0,88	400	1104,8
5	CGBT	Zona Hombres	3	bandeja perforada	302	0,88	400	521,3
6	CGBT	Zona Mujeres	3	bandeja perforada	302	0,88	400	521,3
7	CGBT	Zona de Servicios	3	bandeja perforada	36	0,88	400	62,2
8	Zona Hombres	MR1oesteH	375	subterráneo	150	0,88	400	259,0
9	Zona Hombres	MR2norteH	200	subterráneo	150	0,88	400	259,0
10	Zona Hombres	alaOesteH	300	subterráneo	35,5	0,88	400	61,3
11	Zona Mujeres	MR1surM	200	subterráneo	150	0,88	400	259,0
12	Zona Mujeres	MR2esteM	55	subterráneo	150	0,88	400	259,0
13	Zona Mujeres	alaEsteM	100	subterráneo	35,5	0,88	400	61,3
14	Zona Servicios	Oficinas Generales S	220	subterráneo	8,5	0,88	400	14,7
15	Zona Servicios	Cuerpo de Guardia S	150	subterráneo	5	0,88	400	8,6
16	Zona Servicios	Comunicaciones S	220	subterráneo	7,5	0,88	400	12,9
17	Zona Servicios	Centro de control S	150	subterráneo	8	0,88	400	13,8
18	Zona Servicios	Torre de Vigilancia S	175	subterráneo	11	0,88	400	19,0
19	MR2esteM	Módulo 1	30	empotrado	30	0,88	400	51,8
20	MR2esteM	Módulo 2	20	empotrado	30	0,88	400	51,8
21	MR2esteM	Módulo 3	2	empotrado	30	0,88	400	51,8
22	MR2esteM	Módulo 4	20	empotrado	30	0,88	400	51,8

Figura 16: Extracto del Libro Excel: datos de la instalación

Las columnas A y B son las líneas que unen los cuadros eléctricos para dar un suministro completo al centro. La columna C indica la longitud de estos cables, mientras la columna D indica el tipo de canalización¹ utilizada. Estos datos están indicados en el capítulo 1 donde se describe la instalación del centro en más detalle.

Prosiguiendo, las columnas E, F y G, son respectivamente, la potencia demanda por cada línea, el factor de potencia de la instalación (se ha tomado siempre igual, $\varphi = 0,88$) y la tensión asignada de la instalación, 400V.

Todas estas celdas son celdas de entrada, las únicas celdas de salida de esta hoja son las de la columna H, que calculan la intensidad de servicio según la siguiente fórmula:

$$I_n = \frac{Potencia}{\sqrt{3} \cdot U \cdot 0,95 \cdot \cos\varphi} (A)$$

Este es el cálculo de la corriente suponiendo ya que la caída de tensión es el 5%.

¹ Instalación al aire: bandeja perforada o tubo empotrado en la pared.
Instalación subterránea: cables bajo tubo enterrado.

3.3.1.3. Hoja: Al Aire

Esta hoja fue desarrollada para el cálculo de los cables al aire, es decir, todas aquellas instalaciones de interior no enterradas bajo el suelo.

En este apartado se utilizan dos tipos de canalizaciones diferentes: bandeja perforada y empotrado en tubo. Ambas son instalaciones interiores y el cálculo de la corriente máxima admisible por el cable, en este tipo de instalaciones, depende de la canalización. Por ello, como ya fue mencionado en la explicación teórica de **instalaciones interiores**, para el cálculo de corriente máxima admisible en régimen permanente, la norma UNE HD 60364-5-52 nos lleva a tablas diferentes según: la canalización de los cables, la capacidad de refrigeración de estos... Las siguientes imágenes muestran los valores de I_{adm} tomados de dichas tablas y los factores de corrección utilizados según las condiciones en la que está preestablecida nuestra instalación (agrupación de cables):

108					
109	Sobre bandeja perforada				
110	(instalación al aire)				
111	Intensidad máxima admisible		CONDICIONES DE CABLES		
112	Tabla B.52.12 col 6		Material		cobre
113	Sección nominal	Intensidad Máxima	Tipo de		
114	(mm ²)	admisible	aislamiento		XLPE
115	25	141	Cable		cables unipolares
116	35	176	Tmax en regimen permanente		90,0
117	50	216	T ambiente		30,0
118	70	279	Tmax en cc (t<5s)		250,0
119	95	342			
120	120	400			
121	150	464			
122	240	634			
123	300	736	Factor de corrección por		
124	400	868	agrupación de cables		
125	500	998	Tabla 52-E1		
126	630	1151	1		1
127			2		0,9
128			3		0,8
129			4		0,75
130			6		0,75
131					
Inicio Datos de la instalación Al aire Subterráneos Caída de tensión Icc max					

Figura 17: Extracto de Libro Excel: tablas y condiciones para canalizaciones en bandeja perforada

136						
137	Intensidad máxima admisible			CONDICIONES DE CABLES		
138	B.52.1 col6 → B.52.5 col2			Material		cobre
	Sección nominal	Intensidad Máxima		Tipo de		
139	(mm2)	admisible		aislamiento		XLPE
140	1,5	17		Cable		cables unipolares
141	2,5	23		Tmax en régimen permanente		90,0
142	4	31		T ambiente		30,0
143	6	40		Tmax en cc (t<5s)		250,0
144	10	54				
145	16	73				
146	25	95				
147	35	117				
148	50	141		Factor de corrección por agrupación de cables Tabla 52-E1		
149	70	179				
150	95	216				
151	120	249		1		1
152	150	285		2		0,8
153	185	324		3		0,7
154	240	380		4		0,65
155	300	435		5		0,6
156						
Inicio Datos de la instalación Al aire Subterráneos Caída de tensión Icc max						

Figura 18: Extracto de Libro Excel: tablas y condiciones para canalizaciones empotradas en tubo

Teniendo en cuenta las intensidades máximas admisibles por cada canalización, y siguiendo la condición de $I_n \leq I_{adm}$, se obtienen los siguientes valores:

- Número de conductores, columna D.
- Sección de cable, columna E.
- Intensidad máxima admisible por el cable, columna M.

	A	B	C	D	E	K	L	M
	DE	A	LONGITUD (m)	Nº conduct	SECCIÓN(mm2)	I max adm cable	I max adm corregida	I max adm total
174	Trafo	CGBT	5	3	240	634	507,2	1521,6
175	CGBT	Zona Hombres	3	1	240	634	634,0	634,0
176	Grupo electrog		3	1	35	176	176,0	176,0
177	CGBT	Zona Mujeres	3	1	240	634	634,0	634,0
178	Grupo electrog		3	1	35	176	176,0	176,0
179	CGBT	Zona de Servicios	3	1	25	141	141,0	141,0
180	Grupo electrog		3	1	25	141	141,0	141,0
181								
182	MR2esteM	Módulo 1						
183	Fuerza		30	2	4	31	27,9	55,8
184	Alumbrado		30	2	10	54	48,6	97,2
185	Grupo electrog		30	2	4	31	27,9	55,8
186	MR2esteM	Módulo 2						
187	Fuerza		20	2	4	31	27,9	55,8
188	Alumbrado		20	2	10	54	48,6	97,2
189	Grupo electrog		20	2	4	31	27,9	55,8
190	MR2esteM	Módulo 3						
191	Fuerza		2	2	50	141	126,9	253,8
192	Alumbrado		2	2	50	141	126,9	253,8
193	Grupo electrog		2	2	10	54	48,6	97,2
194	MR2esteM	Módulo 4						
195	Fuerza		20	2	4	31	27,9	55,8
196	Alumbrado		20	2	10	54	48,6	97,2
197								
Inicio Datos de la instalación Al aire Subterráneos Caída de tensión Icc max Resumen(1) Icc min (IA)								

Figura 19: Extracto de Libro Excel: sección y corriente máxima admisible por los cables (al aire)²

²Los colores se deben a que, desde el CGBT salen dos acometidas a los cuadros de distribución: red y grupo electrógeno, por lo que son negro y rojo respectivamente. En la última fase, cuando

Las celdas que componen las columna D, E, K comparan la intensidad que debe circular por el cable en condiciones asignadas con la intensidad máxima admisible, es decir, $I_n \leq I_{adm}$, y eligen según ese criterio el número de conductores y la sección adecuada del cable. Para una mejor comprensión, se expone a continuación un ejemplo.

El cable que une CGBT con el cuadro de distribución Zona de Hombres tiene una longitud de 3m y una canalización sobre bandeja perforada.

$$\text{Su intensidad nominal es: } I_n = \frac{\text{Potencia}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot 0,95 \cdot \cos\varphi} = \frac{302.000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,95 \cdot 0,88} = 521A$$

Yendo a las tablas pertenecientes a la canalización sobre *bandeja perforada* (Figura 17), se encuentra el valor de 634 A para una sección de 240 mm², y ya que $I_n = 521 A \leq I_{adm} = 634 A$, tomaremos esa sección.

Sin embargo, se puede dar el caso de que $I_n \geq I_{adm}$, por lo que las celdas están programadas de tal forma que se irá aumentando el número de conductores mientras se va reduciendo la sección de cable hasta conseguir que pase toda la intensidad de servicio; lo que conlleva a la vez que se vaya corrigiendo I_{adm} con el factor de corrección por agrupamiento de cables. Véase un ejemplo de ello:

El cable que une los transformadores con el cuadro de distribución Zona de Hombres tiene una longitud de 5m y una canalización sobre bandeja perforada.

$$\text{Su intensidad nominal es: } I_n = \frac{\text{Potencia}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot 0,95 \cdot \cos\varphi} = \frac{640.000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,95 \cdot 0,88} = 1105A$$

Yendo a las tablas pertenecientes a la canalización sobre *bandeja perforada* (Figura 17), encontramos que hay un cable de 630 mm² con una intensidad admisible de 1151 A que valdría para este caso ($I_n = 1105 A \leq I_{adm} = 1151 A$).

Este valor de sección es bastante grueso, por lo que se considera no demasiado adecuado para nuestras instalaciones, además de aumentar considerablemente el valor de presupuesto y dificultar el tendido del cable. Por eso se le ordena a la columna D, que aumente el número de conductores con menor sección. En este caso se han elegido 3 conductores de 240mm², pero por la agrupación de cables el factor de corrección de intensidad máxima admisible es de 0,8, por lo que, los cálculos quedan de la siguiente forma:

Para una sección de 240mm², la I_{adm} es 634 A.

Aplicando el factor de corrección: $634 \cdot 0,8 = 507 A$ (columna L)

ya se quiere llevar adecuadamente los usos del consumo a los subcuadros, esas dos acometidas se dividen en tres acometidas independientes: fuerza, alumbrado y grupo; azul, amarillo y rojo.

Como son 3 conductores, la intensidad máxima admisible queda: $507 \cdot 3 = 1521 A \geq I_n = 1105 A$ (columna M)

Precisamente en esta hoja “Al aire” y también en la siguiente hoja “Subterráneos”, la selección de sección de cables (que aumente el número de conductores o que se reduzca/aumente las secciones), no solo depende de que la intensidad nominal sea mayor o menor que I_{adm} , sino que tiene en cuenta también la intensidad de cortocircuito y la caída de tensión que se produce en los conductores (que se explicaran a continuación); por eso, en algunos casos a primera vista no coinciden los valores tal como se han explicado en los ejemplos. Esto se debe a que además de tener en cuenta lo anteriormente descrito, tiene en cuenta la I_{CCmax} y la caída de tensión, estos dos últimos son mucho más restrictivos.

En resumen, este libro está elaborado de tal forma que cada una de las hojas que lo componen están relacionadas y tienen en cuenta los valores obtenidos en cada una de ellas para cumplir todas las restricciones.

Una vez obtenido el número de conductores, sus secciones e intensidades admisibles, se calcula la corriente de cortocircuito máxima admisible por el cable y la impedancia de los mismos para su posterior aplicación en caída de tensión.

Para el cálculo de la corriente de cortocircuito máxima admisible se utiliza la siguiente fórmula³:

$$I_{CC \max adm} = \frac{K \cdot N^{\circ} \text{conduc} \cdot S}{\sqrt{t_{cc}} \cdot 1000}$$

Donde:

- K es el coeficiente del material (se puede ver en la Figura 12). Como tratamos cables de cobre, $K=143$.
- S es la sección en mm^2 del conductor elegido.
- t_{cc} es el tiempo que puede soportar el cable la corriente de cortocircuito para garantizar la selectividad y retardo adecuados, y tendrá los siguiente valores:
 - En el primer nivel, interruptores de caja moldeada, retardo de 1s.
 - En el segundo nivel, interruptores de caja moldeada, retardo de 0,5s.
 - En el tercer nivel, interruptores industriales, retardo de 0,1s.
 - En el cuarto nivel, PIAs, retardo de 0,02s.

El resultado obtenido se divide entre 1000 para dar la corriente de cortocircuito en kA.

³Consejo: es mejor ir siguiendo el apartado 1 (instalaciones interiores y subterráneas) completo para mejor comprensión del procedimiento realizado

En el cálculo de resistencia del cable se emplea la siguiente ecuación:

$$R = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{l}{S}$$

Donde

- l = longitud de la línea en m
- S = sección del cable elegido en mm²
- σ = conductividad del material; para el cobre es 44 (véase la Tabla 11)

Para la reactancia del cable se tiene en cuenta, como se indicó anteriormente en el apartado de cálculo de la impedancia de cable (ap. 3.2.2.4), los siguientes datos:

- En los conductores menores de 150mm² se desprecia la reactancia.
- En cables muy cortos, menores a 5 m, también se desprecia la reactancia.
- Para las demás secciones nos basamos en la tabla que se encuentra en la Guía Técnica de Aplicación de REBT

160			
161	CORRIENTE MÁXIMA EN CORTOCIRCUITO		
162	Nota importante: hasta 150 mm ² la reactancia X se desprecia		
163	Nota importante: en los cables muy cortos se desprecia la impedancia		
164			conductividad de cobre a 90°C es 44
165			despeje de corto t(s)=0,3
166			K=143
167			
168	TABLA de valores de X' en función de la sección		
169	S<120mm ²	0 R	
170	S=150mm ²	0,15 R	
171	S=185mm ²	0,2 R	
172	S=240mm ²	0,25 R	
173			

Figura 20: Extracto de Libro Excel; datos que tiene en cuenta la hoja "Al aire"

Por consiguiente, la hoja de cálculo queda de la siguiente forma:

	DE	A	LONGITUD (m)	Nº conduct	SECCIÓN(mm2)	Icc max adm (kA)	RESISTENCIA R	REACTANCIA X
174	Trafo	CGBT	5	3	240	103,0	0,00016	0,00004
175	CGBT	Zona Hombres	3	1	240	48,5	0,00028	0,00006
176	Grupo electrog		3	1	35	35,4	0,00195	
177	CGBT	Zona Mujeres	3	1	240	48,5	0,00028	0,00006
178	Grupo electrog		3	1	35	35,4	0,00195	
179	CGBT	Zona de Servicios	3	1	25	35,8	0,00273	
180	Grupo electrog		3	1	25	35,8	0,00273	
181								
182	MR2esteM	Módulo 1						
183	Fuerza		30	2	4	1,6	0,17045	
184	Alumbrado		30	2	10	4,0	0,06818	
185	Grupo electrog		30	2	4	1,6	0,17045	
186	MR2esteM	Módulo 2						
187	Fuerza		20	2	4	3,6	0,11364	
188	Alumbrado		20	2	10	9,0	0,04545	
189	Grupo electrog		20	2	4	3,6	0,11364	
190	MR2esteM	Módulo 3						
191	Fuerza		2	2	50	45,2	0,00091	
192	Alumbrado		2	2	50	45,2	0,00091	
193	Grupo electrog		2	2	10	20,2	0,00455	
194	MR2esteM	Módulo 4						
195	Fuerza		20	2	4	3,6	0,11364	
196	Alumbrado		20	2	10	9,0	0,04545	
197	Grupo electrog		20	2	4	3,6	0,11364	
198	MR2esteM	Módulo 5						
199								

Figura 21: Extracto de Libro Excel: Corriente máxima admisible por el cables y su impedancia correspondiente (hoja "Al aire")

Un ejemplo de ello:

Sabiendo ya que el cable que une el transformador con el CGBT es 3x240 mm²:

$$I_{CC \max adm} = \frac{K \cdot N^{\circ} \text{conduc} \cdot S}{\sqrt{t_{cc}} \cdot 1000} = \frac{143 \cdot 3 \cdot 240}{\sqrt{1} \cdot 1000} = 103 \text{ kA}$$

$$R = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{l}{S} = \frac{5}{44 \cdot 3 \cdot 240} = 0,00016 \text{ ohmios}$$

La reactancia será:

$$X = 0,25 \cdot R = 0,25 \cdot 0,0002 = 0,0004 \text{ ohmios}$$

3.3.1.4. Hoja: Subterráneos

Esta hoja está elaborada de forma muy semejante a la de la hoja “Al aire”. Las únicas diferencias significativas que existen en ella son las que se indican a continuación:

- Como se trata de cables subterráneos, las tablas a utilizar para la asignación de la máxima intensidad admisible son diferentes, y estas son proporcionadas por REBT en su Guía Técnica ITC-BT-07 (explicaciones y tablas mostradas en la descripción de las *instalaciones subterráneas*, a partir de la hoja 21). Véase la siguiente imagen con los datos seleccionados y los factores de corrección tenidos en cuenta según nuestro diseño preestablecido de la instalación:

76						
77	Intensidad máxima admisible		CONDICIONES DE CABLES			Factor de corrección
78	52-C4-col2		Material			cobre
79	Sección nominal (mm2)	Intensidad Máxima admisible	Tipo de aislamiento			XLPE
80	6	72	Tipo de cable	terna de cables unipolares		
81	10	96		enterrados directamente		
82	16	125		interior de tubos		0,8
83	25	160				
84	35	190	Tmax en regimen permanente	90,00		
85	50	230	Tmax en cc (t<5s)	250,00		
86	70	280	Profundidad de instalación	1m		0,97
87	95	335	T max q puede alcanzar el terren	30ºC		0,96
88	120	380				
89	150	425		Separación entre los conductores		
90	185	480				
91	240	550		D=0 (en contacto)		
92	300	620		2		0,8
93	400	705		3		0,7
94	500	790		4		0,64
95	630	885		5		0,6
96				6		0,56
97						

Figura 22: Extracto de Libro Excel: tablas y factores de corrección utilizados para el cálculo de los cables subterráneos

Como se puede ver los factores de corrección de la intensidad máxima admisible también cambian según la condición en la que nos encontremos. Estos factores de corrección fueron explicados más detalladamente en la descripción de instalaciones subterráneas.

- En el cálculo de la corriente de cortocircuito máxima soportada por el cable, el procedimiento es semejante pero no igual. Con los valores de duración del cortocircuito (valores de tiempo: 0,02, 0,1, 0,5 y 1 ya indicados) se entra en la Tabla 8 de la ITC-BT-07 y se obtiene la máxima densidad de corriente en el conductor durante el cortocircuito, la cual se multiplicará por el número de conductores y la sección del conductor para obtener finalmente la corriente de cortocircuito máxima admisible (columna I).
- La resistencia del cable se calcula de misma forma que en la hoja “Al aire” pero para el cálculo de la reactancia hay que utilizar otro tipo de tabla que se puede ver a continuación:

101	CORRIENTE MÁXIMA EN CORTOCIRCUITO				
102	Nota importante: hasta 150 mm2 la reactancia X se desprecia				
103	Nota importante: los cables muy cortos me deprecia la impedancia			XLPE	
104	conductividad de cobre a 90°C es 44			tiempo	densidad de cortocircuito
105				0,1	449
106				0,2	318
107				0,3	259
108				0,5	201
109	TABLA de valores de X' en función de la sección			1	142
110	S=50	0,093 ohmios/km		1,5	116
111	S=95	0,083 ohmios/km		2	100
112	S=150	0,099 ohmios/km		2,5	90
113	S=240	0,093 ohmios/km		3	82
114					

Figura 23: Extracto de Libro Excel: valores de reactancias y densidad de corriente para cables subterráneos

Por consiguiente, la hoja queda de la siguiente forma:

	A	B	C	D	E	F	G	I	M	N
	DE	A	LONGITUD (m)	Nº conductores	SECCIÓN(mm2)	RESISTENCIA, R	REACTANCIA, X	Icc max adm(kA)	I max adm corregida(A)	I max adm FINAL (A)
115	Zona Hombres	MR1oesteH	375	4	400	0,0053	0,0375	321,6	705	1804,8
116	Grupo electrog		375	1	150	0,0568	0,037125	30,2	425	425
118	Zona Hombres	MR2norteH	200	1	400	0,0114	0,02	80,4	705	705
119	Grupo electrog		200	1	95	0,0478	0,0166	19,1	335	335
120	Zona Hombres	alaOesteH	300	1	95	0,0718	0,0249	19,1	335	335
121	Grupo electrog		300	1	35	0,1948		7,0	190	190
122	Zona Mujeres	MR1surM	200	1	400	0,0114	0,02	80,4	705	705
123	Grupo electrog		200	1	70	0,0649	0,0186	14,1	280	280
124	Zona Mujeres	MR2esteM	55	2	150	0,0042	0,005445	60,3	425	680
125	Grupo electrog		55	2	150	0,0042	0,005445	60,3	425	680
126	Zona Mujeres	alaEsteM	100	1	50	0,0455	0,00465	10,1	230	230
127	Grupo electrog		100	1	25	0,0909		5,0	160	160
128	Zona Servicios	Oficinas Generales S								
129	Fuerza		220	1	10	0,5000		2,0	96	96
130	Alumbrado		220	1	10	0,5000		2,0	96	96
131	Grupo electrog		220	1	10	0,5000		2,0	96	96
132	Zona Servicios	Cuerpo de Guardia S								
133	Fuerza		150	1	6	0,5682		1,2	72	72
134	Alumbrado		150	1	6	0,5682		1,2	72	72
135	Grupo electrog		150	1	6	0,5682		1,2	72	72
136	Zona Servicios	Comunicaciones S								
137	Fuerza		220	1	6	0,8333		1,2	72	72
138	Alumbrado		220	1	6	0,8333		1,2	72	72
139	Grupo electrog		220	1	6	0,8333		1,2	72	72
140	Zona Servicios	Centro de control S								
141	Fuerza		150	1	6	0,5682		1,2	72	72
142	Alumbrado		150	1	6	0,5682		1,2	72	72
143	Grupo electrog		150	1	6	0,5682		1,2	72	72
144	Zona Servicios	Torre de Vigilancia S								
145	Fuerza		175	1	6	0,6629		1,2	72	72
146	Alumbrado		175	1	6	0,6629		1,2	72	72
147	Grupo electrog		175	1	6	0,6629		1,2	72	72
148	alaEsteM	Hospital								
149	Fuerza		200	1	25	0,1818		5,0	160	160
150	Alumbrado		200	1	25	0,1818		5,0	160	160
151	Grupo electrog		200	1	10	0,4545		2,0	96	96
152	alaEsteM	Comunicaciones								
153	Fuerza		150	1	6	0,5682		1,2	72	72

Figura 24: Extracto de Libro Excel: cables subterráneos

3.3.1.5 Hoja: Caída de tensión

A partir de aquí, toda la instalación se trata de la misma forma, por ello, ahora ya no habrá una separación entre los cables pertenecientes a la hoja “Al aire” y los cables pertenecientes a la hoja “Subterráneas”, ambas de combinarán.

El cálculo de la caída de tensión se realiza según el Anexo 2 de la Guía Técnica de Aplicación del REBT.

Se puede considerar, de forma aproximada, que la caída de tensión en los cables es la siguiente, columna O (celda de salida)⁴:

$$U(\%) = \frac{\sum(\sqrt{3} \cdot ((I \cdot R \cos\varphi) + (I \cdot X \sin\varphi)))}{U} \cdot 100$$

El sumatorio se debe a que como el origen de la instalación se suele tomar desde el secundario del transformador, y tenemos varios cables unidos en el tramo (desde el origen hasta el consumidor final) la caída de tensión es **acumulativa**.

	A	B	C	D	E	F	G	H	K	L	M	N	O
2	DE	A	LONGITU D (m)	TIPO	Potencia (kW)	cosφ	Un(V)	In (A)	R (inicial)	X (inicial)	R cos	X sen	V(%)
6	Trafo	CGBT	5	bandeja perforada	639,9	0,88	400		0,00016	0,00004	0,00014	0,00002	
7	CGBT	Zona Hombres	3	bandeja perforada	301,95	0,88	400	521,3	0,00028	0,00006	0,00025	0,00003	0,06
8	Grupo electrog		3	bandeja perforad	84,546	0,88	400	146,0	0,00195		0,00171	0,00000	0,11
9	CGBT	Zona Mujeres	3	bandeja perforada	301,95	0,88	400	521,3	0,00028	0,00006	0,00025	0,00003	0,06
10	Grupo electrog		3	bandeja perforad	84,546	0,88	400	146,0	0,00195		0,00171	0,00000	0,11
11	CGBT	Zona de Servicios	3	bandeja perforada	36	0,88	400	62,2	0,00273		0,00240	0,00000	0,06
12	Grupo electrog		3	bandeja perforad	10,08	0,88	400	17,4	0,00273		0,00240	0,00000	0,02
13	Zona Hombres	MR1oesteH	375	subterráneo	150	0,88	400	259,0	0,00533	0,03750	0,00469	0,01781	2,52
14	Grupo electrog		375	subterráneo	42	0,88	400	72,5	0,05682	0,03713	0,05000	0,01763	2,12
15	Zona Hombres	MR2norteH	200	subterráneo	150	0,88	400	259,0	0,01136	0,02000	0,01000	0,00950	2,19
16	Grupo electrog		200	subterráneo	42	0,88	400	72,5	0,04785	0,01660	0,04211	0,00789	1,57
17	Zona Hombres	alaOesteH	300	subterráneo	35,5	0,88	400	61,3	0,07177	0,02490	0,06316	0,01183	1,99
18	Grupo electrog		300	subterráneo	9,94	0,88	400	17,2	0,19481		0,17143	0,00000	1,27
19	Zona Mujeres	MR1surM	200	subterráneo	150	0,88	400	259,0	0,01136	0,02000	0,01000	0,00950	2,19
20	Grupo electrog		200	subterráneo	42	0,88	400	72,5	0,06494	0,01860	0,05714	0,00884	2,07
21	Zona Mujeres	MR2esteM	55	subterráneo	150	0,88	400	259,0	0,00417	0,00545	0,00367	0,00259	0,70
22	Grupo electrog		55	subterráneo	42	0,88	400	72,5	0,00417	0,00545	0,00367	0,00259	0,20
23	Zona Mujeres	alaEsteM	100	subterráneo	35,5	0,88	400	61,3	0,04545	0,00465	0,04000	0,00221	1,12
24	Grupo electrog		100	subterráneo	9,94	0,88	400	17,2	0,09091		0,08000	0,00000	0,59
25	Zona Servicios	Oficinas Generales S			8,5								
26	Fuerza		220	subterráneo	3,4	0,88	400	5,9	0,50000		0,44000		1,18
27	Alumbrado		220	subterráneo	5,1	0,88	400	8,8	0,50000		0,44000		1,74
28	Grupo electrog		220	subterráneo	2,38	0,88	400	4,1	0,50000		0,44000		0,85
29	Zona Servicios	Cuerpo de Guardia S			5								
30	Fuerza		150	subterráneo	2	0,88	400	3,5	0,56818		0,50000		0,81
31	Alumbrado		150	subterráneo	3	0,88	400	5,2	0,56818		0,50000		1,19
32	Grupo electrog		150	subterráneo	1,4	0,88	400	2,4	0,56818		0,50000		0,54
33	Zona Servicios	Comunicaciones S			7,5								

Figura 25: Extracto de Libro Excel: cálculo de la caída de tensión.

Por lo tanto, partiendo desde las impedancias calculadas para cada conductor, se calcula la caída de tensión que se produce en el cable con la carga máxima prevista. Véase el siguiente ejemplo donde se muestra cómo se calcula esa caída de tensión que entre el

⁴Las celdas que comprenden las columnas desde A a L son de entrada, y han sido llamadas desde las anteriores hojas. Las columnas M y N, son respectivamente, R·0,88 (cos); X·0,475(sen).

CGBT y el cuadro existente en el edificio de Oficinas Generales (Zona de Servicios), caída de tensión en el consumo de alumbrado del edificio.

En primer lugar hay que tener en cuenta todas las impedancias que existen en el circuito que une el CGBT con Oficinas Generales S (columna K y L), y las intensidades que circulan por ellas (columna H)⁵. Se sigue el siguiente orden:

Impedancia del cable que une el **transformador con CGBT** y la intensidad de servicio que circula son:

$$Z_{trafo-CGBT} = 0,00016 + j0,00004 \text{ ohmios}$$

$$I_{trafo-CGBT} = 521 \text{ A}$$

Resistencia del cable que une los cuadros **CGBT y Zona de Servicios** y la intensidad de servicio que circula son:

$$R_{CGBT-ZdS} = 0,00273 \text{ ohmios}$$

$$I_{nCGBT-ZdS} = 62 \text{ A}$$

Resistencia del cable que une **Zona de Servicios y Oficinas Generales S** y la intensidad de servicio que circula son:

$$R_{ZdS-of.gen} = 0,5 \text{ ohmios}$$

$$I_{ZdS-of.gen} = 8,8 \text{ A}$$

Antes de proceder con el cálculo de la fórmula, necesitamos saber que $\sin\varphi = 0,475$, $\cos\varphi = 0,88$ y que es muy habitual despreciar la caída de tensión que se puede producir entre los transformadores y los Cuadros Generales de Baja Tensión si están juntos en una sala (como es el caso). Este último comentario fue explicado en el apartado 3.2.2.5. (Máxima Caída de Tensión).

$$U(\%) = \frac{\sqrt{3} \cdot \left((I_{nCGBT-ZdS} \cdot R_{CGBT-ZdS} \cdot \cos\varphi) + (I_{ZdS-of.gen} \cdot R_{ZdS-of.gen} \cdot \cos\varphi) \right)}{U} \cdot 100$$

$$U(\%) = \frac{\sqrt{3} \cdot ((62 \cdot 0,00273 \cdot 0,88) + (8,8 \cdot 0,5 \cdot 0,88))}{400} \cdot 100 = 1,74\%$$

Esta hoja tiene la función de cuando se sobrepase las condiciones de uso marcadas por REBT (3% en alumbrado y 5% en fuerza) las celdas pertenecientes a la columna O cambian de color, indicando así que se deben variar las secciones y número de los conductores para reducir la caída de tensión (esta es la razón por la que cada hoja están relacionadas entre sí).

⁵Las columnas H, K, L son llamadas de las hojas programadas anteriores ya que sus cálculos se explicaron y se demostraron recientemente.

3.3.1.6. Hoja: Corriente de cortocircuito

Esta hoja es muy similar a la de “Caída de tensión”, tiene las mismas columnas de entrada pero diferente columna de salida. Estas celdas de salidas son los valores de la corriente de cortocircuito producida.

#	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
#	DE	A	LONGITU	TIPO	Potencia (kW)	cosφ	Un(V)	In (A)	R	X		Icc (kA)	Impedancia de los cables	Valor absoluto de las impedancias	IMPEDANCIA ACUMULADA para el cálculo de CC (Zeq)	Valor absoluto de la Zeq		
3	Red	MVA			500	0,4/20kV				0,00032								
4	Trafo	KVA		2 en paralelo	800	400				0,00000								
5										0,00632 Z[total]			0,00632					
6	Trafo	CGBT	5	bandeja perforada	639,9	0,88	400	1104,8	0,00016	0,00004		36,30	0,000178208282838+0,0000i	0,000162686	0,000178208282838+0,0000i	0,000163415		
7	CGBT	Zona Hombres	3	bandeja perforada	301,95	0,88	400	521,3	0,00028	0,00006		36,18	0,0001284909090909+0,0000i	0,000128492	0,0001284909090909+0,0000i	0,00013419		
8	Grupo electrog		3	bandeja perforada	84,546	0,88	400	146,0	0,00195			34,92	0,00194805194805195+0,0000i	0,001948052	0,00194805194805195+0,0000i	0,000613419		
9	CGBT	Zona Mujeres	3	bandeja perforada	301,95	0,88	400	521,3	0,00028	0,00006		36,18	0,000128490909090909+0,0000i	0,000128492	0,000128490909090909+0,0000i	0,000613419		
10	Grupo electrog		3	bandeja perforada	84,546	0,88	400	146,0	0,00195			34,92	0,00194805194805195+0,0000i	0,001948052	0,00194805194805195+0,0000i	0,000613419		
11	CGBT	Zona de Servicios	3	bandeja perforada	36	0,88	400	62,2	0,00273			33,55	0,00272727272727273+0,0000i	0,002727273	0,00272727272727273+0,0000i	0,000883343		
12	Grupo electrog		3	bandeja perforada	10,08	0,88	400	17,4	0,00273			33,55	0,00272727272727273+0,0000i	0,002727273	0,00272727272727273+0,0000i	0,000883343		
13	Zona Hombres	MR1oesteH	375	subterráneo	150	0,88	400	259,0	0,00533	0,03750		6,08	0,005126708454545+0,0375i	0,03784628	0,005126708454545+0,0375i	0,03773617		
14	Grupo electrog		375	subterráneo	42	0,88	400	72,5	0,05682	0,03713		3,32	0,0568181818181818+0,037125i	0,067871728	0,0568181818181818+0,037125i	0,05910889		
15	Zona Hombres	MR2norteH	200	subterráneo	150	0,88	400	259,0	0,01136	0,02000		9,96	0,0113636363636364+0,02i	0,020008774	0,0113636363636364+0,02i	0,021819652		
16	Grupo electrog		200	subterráneo	42	0,88	400	72,5	0,04785	0,01660		4,40	0,0478486886666667+0,0166i	0,050064462	0,0478486886666667+0,0166i	0,052348991		
17	Zona Hombres	alaOesteH	300	subterráneo	35,5	0,88	400	61,3	0,07177	0,02490		3,03	0,0717734982297+0,0249i	0,07967039	0,0717734982297+0,0249i	0,07967039		
18	Grupo electrog		300	subterráneo	9,94	0,88	400	17,2	0,19481			1,17	0,194805194805195+0,0000i	0,194805195	0,194805194805195+0,0000i	0,19673247		
19	Zona Mujeres	MR1surM	200	subterráneo	150	0,88	400	259,0	0,01136	0,02000		9,96	0,0113636363636364+0,02i	0,020008774	0,0113636363636364+0,02i	0,021819652		
20	Grupo electrog		200	subterráneo	42	0,88	400	72,5	0,04994	0,01860		3,33	0,0494930593059049+0,0186i	0,067544448	0,0494930593059049+0,0186i	0,069421266		
21	Zona Mujeres	MR2esteM	55	subterráneo	150	0,88	400	259,0	0,00417	0,00545		28,21	0,0041666666666667+0,00544i	0,000856321	0,0041666666666667+0,00544i	0,007706669		
22	Grupo electrog		55	subterráneo	42	0,88	400	72,5	0,00417	0,00545		28,21	0,0041666666666667+0,00544i	0,000856321	0,0041666666666667+0,00544i	0,008187662		
23	Zona Mujeres	alaEsteM	100	subterráneo	35,5	0,88	400	61,3	0,04545	0,00465		5,02	0,0454545454545+0,00465i	0,045691774	0,0454545454545+0,00465i	0,045980818		
24	Grupo electrog		100	subterráneo	9,94	0,88	400	17,2	0,09091			2,49	0,0909090909090909+0,0000i	0,090909091	0,0909090909090909+0,0000i	0,092857143		
25	Zona Servicios	Oficinas Generales S			8,5													
26	Fuerza		220	subterráneo	3,4	0,88	400	5,9	0,50000			0,46	0,5	0,502727272727273	0,502727273			
27	Alumbrado		220	subterráneo	5,1	0,88	400	8,8	0,50000			0,46	0,5	0,502727272727273	0,502727273			
28	Grupo electrog		220	subterráneo	2,38	0,88	400	4,1	0,50000			0,46	0,5	0,502727272727273	0,502727273			
29	Zona Servicios	Cuerpo de Guardia S			5													
30	Fuerza		150	subterráneo	2	0,88	400	3,5	0,56818			0,40	0,568181818181818	0,568181818	0,570909090909091	0,570909091		
31	Alumbrado		150	subterráneo	3	0,88	400	5,2	0,56818			0,40	0,568181818181818	0,568181818	0,570909090909091	0,570909091		
32	Grupo electrog		150	subterráneo	1,4	0,88	400	2,4	0,56818			0,40	0,568181818181818	0,568181818	0,570909090909091	0,570909091		
33	Zona Servicios	Comunicaciones S			7,5													
34	Fuerza		220	subterráneo	3	0,88	400	5,2	0,83333			0,28	0,833333333333333	0,833333333	0,836060606060606	0,836060606		
35	Alumbrado		220	subterráneo	4,5	0,88	400	7,8	0,83333			0,28	0,833333333333333	0,836060606	0,836060606060606	0,836060606		
36	Grupo electrog		220	subterráneo	2,1	0,88	400	3,6	0,83333			0,28	0,833333333333333	0,836060606	0,836060606060606	0,836060606		
37	Zona Servicios	Centro de control S			8													
38	Fuerza		150	subterráneo	3,2	0,88	400	5,5	0,56818			0,40	0,568181818181818	0,568181818	0,570909090909091	0,570909091		
39	Alumbrado		150	subterráneo	4,8	0,88	400	8,3	0,56818			0,40	0,568181818181818	0,568181818	0,570909090909091	0,570909091		

Figura 26: Extracto de Libro Excel: hoja de corriente de cortocircuito

En instalaciones de Baja Tensión el criterio de cortocircuito no suele ser determinante para la elección de la sección del cable ya que cuanto más lejos se produzca la falta del Centro de Transformación, mayor es la impedancia del circuito, por tanto, menor es la corriente de cortocircuito.

Como se puede ver, estas dos últimas hojas descritas tienen un cierto grado de semejanza en el sentido de que cada vez que nos alejamos del Centro de Transformación, tenemos que ir acumulando las impedancias en serie para obtener el resultado final. La diferencia está que para el cálculo de las caídas de tensión se opera con números reales, ya que las caídas de tensión en la resistencia y en la reactancia del cable se proyectan sobre el vector tensión, mientras que en esta ocasión se debe trabajar con números complejos.

J	K	L	M	N	O	P	Q	R
R	X		Icc (kA)		Impedancia de los cables	Valor absoluto de las impedancias	IMPEDANCIA ACUMULATIVA para el cálculo de CC (Zeq)	Valor absoluto de la Zeq
	0,00032							
	0,00600							
	0,00632	Z(total)		0,00632j				
0,00016	0,00004		36,30	0,0001578282828283+0,00j	0,000162686328283+0,00635945707070707j			0,006361415
0,00028	0,00006		36,18	0,0002840909090909+0,00j	0,000289717390909+0,00637681818181818j			0,006383143
0,00195			34,92	0,00194805194805195	0,0019480521,00194805194805195+0,00632j			0,006613419
0,00028	0,00006		36,18	0,0002840909090909+0,00j	0,000289717390909+0,00637681818181818j			0,006383143
0,00195			34,92	0,00194805194805195	0,0019480521,00194805194805195+0,00632j			0,006613419
0,00273			33,55	0,00272727272727273	0,0027272731,00272727272727273+0,00632j			0,006883343
0,00273			33,55	0,00272727272727273	0,0027272731,00272727272727273+0,00632j			0,006883343
0,00533	0,03750		6,08	0,0053267045454545+0,0375j	0,0378764283454546+0,03755681818181818j			0,037973617
0,05682	0,03713		3,32	0,0568181818181818+0,03713j	0,0678717281,0587662337662338+0,037125j			0,069510689
0,01136	0,02000		9,96	0,0113636363636364+0,02j	0,0230028742727273+0,02005681818181818j			0,023193652
0,04785	0,01660		4,40	0,0478468899521531+0,0166j	0,0506446921,0497949419002051+0,0166j			0,052489011
0,07177	0,02490		3,03	0,0717703349282297+0,0249j	0,0759670393373206+0,02495681818181818j			0,076254069
0,19481			1,17	0,194805194805195	0,1948051951,196753246753247			0,196753247
0,01136	0,02000		9,96	0,0113636363636364+0,02j	0,0230028742727273+0,02005681818181818j			0,023193652
0,06494	0,01860		3,33	0,0649350649350649+0,0186j	0,0675464481,0668831168831168+0,0186j			0,06942126
0,00417	0,00545		32,63	0,0041666666666667+0,00545j	0,006856321575758+0,00550181818181818j			0,007076669
0,00417	0,00545		28,21	0,0041666666666667+0,00545j	0,00685632150611471861471862+0,005445j			0,008187662
0,04545	0,00465		5,02	0,0454545454545455+0,00465j	0,045691774536364+0,00470681818181818j			0,04598018
0,09091			2,49	0,0909090909090909	0,0909090911,0928571428571428			0,092857143

Figura 27: Extracto de Libro Excel: acumulación de números complejos

Como se puede ver en la Figura 26, desde la columna A a la columna K, son celdas de entrada de anteriores hojas. La columna O son las impedancias de las líneas con su parte real e imaginaria, mientras la columna P, obtiene su módulo. La columna Q es la que irá acumulando las impedancias que intervienen en el circuito, se van sumando; por lo que, en la columna R obtiene su módulo.

Las celdas que componen la columna M, son celdas de salida en las cuales está

programada la siguiente ecuación: $I_{CC} = \frac{U/\sqrt{3}}{Z_{eq}}$

Véase el siguiente ejemplo en el cual se calculará el cortocircuito que se produce en edificio Modulo de Reclusión 2 de la Zona de Mujeres, en el Módulo 1, (consumo en fuerza).

Se calcula en primer lugar todas las impedancias que intervienen en ese circuito siguiendo el siguiente orden:

$$\text{Impedancia de la Red}^6: Z_{red} = \frac{U^2}{P} = \frac{400^2}{500 \cdot 10^6} = j \, 0,00032 \, \text{ohmios}$$

⁶Como se mencionó en la introducción, este Trabajo Fin de Grado no abarca los estudios de Media Tensión, sin embargo sí que harían comentarios necesarios para la mejor comprensión del mismo. Por tanto, para el cálculo de la caída de tensión es necesario conocer la potencia de cortocircuito de la red, asignándole un valor de $S_{CC}=500\text{MVA}$.

Impedancia de los **dos transformadores en paralelo**: $Z_{trafo} = X_{CC} \cdot \frac{U^2}{P} = 0,006 \cdot \frac{400^2}{800 \cdot 10^3} / 2 = j 0,006 \text{ ohmios}$

Impedancia del cable que une los **transformadores con CGBT**:

$$Z_{trafo-CGBT} = 0,00016 + j0,00004 \text{ ohmios}$$

Impedancia del cable que une los cuadros **CGBT y Zona de Mujeres**:

$$Z_{CGBT-ZdM} = 0,00028 + j0,00006 \text{ ohmiosohmios}$$

Impedancia del cable que une **Zona Mujeres y MR2esteM**:

$$Z_{ZdM-MR2esteM} = 0,00417 + j0,00545 \text{ ohmios}$$

Resistencia del cable que une **MR2esteM y Módulo 1**:

$$R_{MR2esteM-Módulo1} = 0,17045 \text{ ohmios}$$

Fórmula de la corriente de cortocircuito es:

$$I_{CC} = \frac{U/\sqrt{3}}{Z_{eq}}$$

Donde:

$$Z_{eq} = Z_{red} + Z_{trafo} + Z_{trafo-CGBT} + Z_{CGBT-ZdM} + Z_{ZdM-MR2esteM} + R_{MR2esteM-Módulo1}$$

$$Z_{eq} = (j0,00032) + (j0,006) + (0,00016 + j0,00004) + (0,00028 + j0,00006) + (0,00417 + j0,00545) + (0,17045) = 0,17506 + j0,01187 \text{ ohmios}$$

Por lo que, se queda de la siguiente forma:

$$I_{CC} = \frac{400/\sqrt{3}}{0,17506 + j0,01187} = 1309,096 - j110,369 \text{ A}$$

$$|I_{CC}| = 13,2 \text{ kA}$$

3.3.1.7. Hoja: Resumen 1

Una vez explicadas las hojas anteriores, en la hoja **Resumen 1** se recoge toda la información relevante para el apartado 3 (Selección de cables) en esta hoja se indica: nombres de los cuadros; conexiones entre los cuadros; la longitud del cable entre los cuadros (m); tipo de canalización; potencia consumida por cada edificio/modulo (a la vez que, potencia desglosada, consumo en fuerza, alumbrado y consumo del grupo electrógeno); número de conductores necesarios; sección de los conductores, sus resistencias y reactancias; intensidad nominal de servicio; intensidad máxima admisible por el cuadro; corriente de cortocircuito; corriente de cortocircuito máxima soportada por el cable; y por último, la caída de tensión en el conductor. En la Tabla 15: Características generales de los conductores.

DE	A	Long (m)	Tipo de cable	Pot (kW)	Nº condct	Sección (mm2)	R (ohmios)	X (ohmios)	In (A)	Imaxadm (A)	Icc max adm (kA)	Icc (kA)	ΔU (%)
Trafo	CGBT	5	bandeja perforada	640	3	240	0,0002	0,00004	1105	1521,6	103,0	36,3	
CGBT	Zona Hombres	3	bandeja perforada	302	1	240	0,0003	0,00006	521	634	48,5	36,2	0,06
Grupo electrog		3	bandeja perforada	85	1	35	0,0019		146	176	35,4	34,9	0,11
CGBT	Zona Mujeres	3	bandeja perforada	302	1	240	0,0003	0,00006	521	634	48,5	36,2	0,06
Grupo electrog		3	bandeja perforada	85	1	35	0,0019		146	176	35,4	34,9	0,11
CGBT	Zona de Servicios	3	bandeja perforada	36	1	25	0,0027		62	141	35,8	33,6	0,06
Grupo electrog		3	bandeja perforada	10	1	25	0,0027		17	141	35,8	33,6	0,02
Zona Hombres	MR1oesteH	375	subterráneo	150	4	400	0,0053	0,03750	259	1804,8	321,6	6,1	2,52
Grupo electrog		375	subterráneo	42	1	150	0,0568	0,03713	73	425	30,2	3,3	2,12
Zona Hombres	MR2norteH	200	subterráneo	150	1	400	0,0114	0,02000	259	705	80,4	10,0	2,19
Grupo electrog		200	subterráneo	42	1	95	0,0478	0,01660	73	335	19,1	4,4	1,57
Zona Hombres	alaOesteH	300	subterráneo	35,5	1	95	0,0718	0,02490	61	335	19,1	3,0	1,99
Grupo electrog		300	subterráneo	9,94	1	35	0,1948		17	190	7,0	1,2	1,27

Zona Mujeres	MR1surM	200	subterráneo	150	1	400	0,0114	0,02000	259	705	80,4	10,0	2,19
Grupo electrog		200	subterráneo	42	1	70	0,0649	0,01860	73	280	14,1	3,3	2,07
Zona Mujeres	MR2esteM	55	subterráneo	150	2	150	0,0042	0,00545	259	680	60,3	32,6	0,70
Grupo electrog		55	subterráneo	42	2	150	0,0042	0,00545	73	680	60,3	28,2	0,20
Zona Mujeres	alaEsteM	100	subterráneo	35,5	1	50	0,0455	0,00465	61	230	10,1	5,0	1,12
Grupo electrog		100	subterráneo	9,94	1	25	0,0909		17	160	5,0	2,5	0,59
Zona Servicios	Oficinas Generales S			8,5									
Fuerza		220	subterráneo	3,4	1	10	0,5000	0	6	96	2,0	0,5	1,18
Alumbrado		220	subterráneo	5,1	1	10	0,5000	0	9	96	2,0	0,5	1,74
Grupo electrog		220	subterráneo	2,38	1	10	0,5000	0	4	96	2,0	0,5	0,85
Zona Servicios	Cuerpo de Guardia S			5									
Fuerza		150	subterráneo	2	1	6	0,5682	0	3	72	1,2	0,4	0,81
Alumbrado		150	subterráneo	3	1	6	0,5682	0	5	72	1,2	0,4	1,19
Grupo electrog		150	subterráneo	1,4	1	6	0,5682	0	2	72	1,2	0,4	0,54
Zona Servicios	Comunicaciones S			7,5									
Fuerza		220	subterráneo	3	1	6	0,8333	0	5	72	1,2	0,3	1,71
Alumbrado		220	subterráneo	4,5	1	6	0,8333	0	8	72	1,2	0,3	2,53

Grupo electrog		220	subterráneo	2,1	1	6	0,8333	0	4	72	1,2	0,3	1,17
Zona Servicios	Centro de control S			8									
Fuerza		150	subterráneo	3,2	1	6	0,5682	0	6	72	1,2	0,4	1,26
Alumbrado		150	subterráneo	4,8	1	6	0,5682	0	8	72	1,2	0,4	1,86
Grupo electrog		150	subterráneo	2,24	1	6	0,5682	0	4	72	1,2	0,4	0,86
Zona Servicios	Torre de Vigilancia S			11									
Fuerza		175	subterráneo	4,4	1	6	0,6629	0	8	72	1,2	0,3	1,98
Alumbrado		175	subterráneo	6,6	1	6	0,6629	0	11	72	1,2	0,3	2,94
Grupo electrog		175	subterráneo	3,08	1	6	0,6629	0	5	72	1,2	0,3	1,36
MR2esteM	Módulo 1			30									
Fuerza		30	empotrado en tubo	6	2	4	0,1705	0	10	55,8	1,6	1,3	1,37
Alumbrado		30	empotrado en tubo	24	2	10	0,0682	0	41	97,2	4,0	3,2	1,78
Grupo electrog		30	empotrado en tubo	8,4	2	4	0,1705	0	15	55,8	1,6	1,3	1,14
MR2esteM	Módulo 2			30									
Fuerza		20	empotrado en tubo	6	2	4	0,1136	0	10	55,8	3,6	2,0	1,15
Alumbrado		20	empotrado en tubo	24	2	10	0,0455	0	41	97,2	9,0	4,6	1,42
Grupo electrog		20	empotrado en tubo	8,4	2	4	0,1136	0	15	55,8	3,6	1,9	0,82

MR2esteM	Módulo 3			30									
Fuerza		2	empotrado en tubo	6	2	50	0,0009	0	10	253,8	45,2	30,1	0,70
Alumbrado		2	empotrado en tubo	24	2	50	0,0009	0	41	253,8	45,2	30,1	0,72
Grupo electrog		2	empotrado en tubo	8,4	2	10	0,0045	0	15	97,2	20,2	19,3	0,22
MR2esteM	Módulo 4			30									
Fuerza		20	empotrado en tubo	6	2	4	0,1136	0	10	55,8	3,6	2,0	1,15
Alumbrado		20	empotrado en tubo	24	2	10	0,0455	0	41	97,2	9,0	4,6	1,42
Grupo electrog		20	empotrado en tubo	8,4	2	4	0,1136	0	15	55,8	3,6	1,9	0,82
MR2esteM	Módulo 5			30									
Fuerza		30	empotrado en tubo	6	2	4	0,1705	0	10	55,8	3,6	1,3	1,37
Alumbrado		30	empotrado en tubo	24	2	10	0,0682	0	41	97,2	9,0	3,2	1,78
Grupo electrog		30	empotrado en tubo	8,4	2	4	0,1705	0	15	55,8	3,6	1,3	1,14
MR1surM	Módulo 1			30									
Fuerza		30	empotrado en tubo	6	2	25	0,0273	0	10	171	22,6	5,3	2,29
Alumbrado		30	empotrado en tubo	24	2	70	0,0097	0	41	322,2	63,3	7,9	2,34
Grupo electrog		30	empotrado en tubo	8,4	2	16	0,0426	0	15	131,4	14,5	2,1	2,31
MR1surM	Módulo 2			30									

Fuerza		20	empotrado en tubo	6	2	25	0,0182	0	10	171	22,6	6,4	2,26
Alumbrado		20	empotrado en tubo	24	2	70	0,0065	0	41	322,2	63,3	8,5	2,29
Grupo electrog		20	empotrado en tubo	8,4	2	10	0,0455	0	15	97,2	9,0	2,0	2,32
MR1surM	Módulo 3			30									
Fuerza		2	empotrado en tubo	6	2	16	0,0028	0	10	131,4	14,5	9,3	2,20
Alumbrado		2	empotrado en tubo	24	2	16	0,0028	0	41	131,4	14,5	9,3	2,23
Grupo electrog		2	empotrado en tubo	8,4	2	1,5	0,0303	0	15	30,6	3,0	2,3	2,24
MR1surM	Módulo 4			30									
Fuerza		20	empotrado en tubo	6	2	25	0,0182	0	10	171	22,6	6,4	2,26
Alumbrado		20	empotrado en tubo	24	2	50	0,0091	0	41	253,8	45,2	8,0	2,33
Grupo electrog		20	empotrado en tubo	8,4	2	10	0,0455	0	15	97,2	9,0	2,0	2,32
MR1surM	Módulo 5			30									
Fuerza		30	empotrado en tubo	6	2	25	0,0273	0	10	171	22,6	5,3	2,29
Alumbrado		30	empotrado en tubo	24	2	50	0,0136	0	41	253,8	45,2	7,2	2,40
Grupo electrog		30	empotrado en tubo	8,4	2	10	0,0682	0	15	97,2	9,0	1,7	2,45
alaEsteM	Hospital			12									
Fuerza		200	subterráneo	4,8	1	25	0,1818	0	8	160	72,0	1,0	1,69

Alumbrado		200	subterráneo	7,2	1	25	0,1818	0	12	160	72,0	1,0	1,98
Grupo electrog		200	subterráneo	3,36	1	10	0,4545	0	6	96	72,0	0,4	1,60
alaEsteM	Comunicaciones			7,5									
Fuerza		150	subterráneo	3	1	6	0,5682	0	5	72	72,0	0,4	2,24
Alumbrado		150	subterráneo	4,5	1	6	0,5682	0	8	72	72,0	0,4	2,80
Grupo electrog		150	subterráneo	2,1	1	6	0,5682	0	4	72	72,0	0,3	1,38
alaEsteM	Taller			5									
Fuerza		100	subterráneo	2	1	6	0,3788	0	3	72	72,0	0,5	1,62
Alumbrado		100	subterráneo	3	1	6	0,3788	0	5	72	72,0	0,5	1,87
Grupo electrog		100	subterráneo	1,4	1	6	0,3788	0	2	72	72,0	0,5	0,94
alaEsteM	Servicios Generales			5									
Fuerza		50	subterráneo	2	1	25	0,0455	0	3	160	72,0	2,5	1,18
Alumbrado		50	subterráneo	3	1	25	0,0455	0	5	160	72,0	2,5	1,21
Grupo electrog		50	subterráneo	1,4	1	25	0,0455	0	2	160	72,0	1,7	0,64
alaEsteM	Centro de Control			6									
Fuerza		30	empotrado en tubo	2,4	1	6	0,0076	0	10	40	2,7	1,3	1,13
Alumbrado		30	empotrado en tubo	3,6	1	6	0,0076	0	41	40	2,7	1,3	1,14
Grupo electrog		30	empotrado en tubo	1,68	1	6	0,0076	0	15	40	2,7	0,6	0,60

MR2norteH	Módulo 1			30									
Fuerza		30	empotrado en tubo	6	2	35	0,0195	0	10	210,6	31,7	6,2	2,26
Alumbrado		30	empotrado en tubo	24	2	70	0,0097	0	41	322,2	63,3	7,9	2,34
Grupo electrog		30	empotrado en tubo	8,4	2	35	0,0195	0	15	210,6	31,7	3,2	1,68
MR2norteH	Módulo 2			30									
Fuerza		20	empotrado en tubo	6	2	25	0,0182	0	4	171	22,6	6,4	2,26
Alumbrado		20	empotrado en tubo	24	2	35	0,0130	0	6	210,6	31,7	7,3	2,39
Grupo electrog		20	empotrado en tubo	8,4	2	16	0,0284	0	3	131,4	14,5	2,9	1,73
MR2norteH	Módulo 3			30									
Fuerza		2	empotrado en tubo	6	2	10	0,0045	0	10	97,2	9,0	9,0	2,20
Alumbrado		2	empotrado en tubo	24	2	10	0,0045	0	41	97,2	9,0	9,0	2,26
Grupo electrog		2	empotrado en tubo	8,4	2	10	0,0045	0	15	97,2	9,0	4,1	1,59
MR2norteH	Módulo 4			30									
Fuerza		20	empotrado en tubo	6	2	25	0,0182	0	10	171	22,6	6,4	2,26
Alumbrado		20	empotrado en tubo	24	2	35	0,0130	0	41	210,6	31,7	7,3	2,39
Grupo electrog		20	empotrado en tubo	8,4	2	16	0,0284	0	15	131,4	45,8	2,9	1,73
MR2norteH	Módulo 5			30									

Fuerza		30	empotrado en tubo	6	2	25	0,0273	0	10	171	22,6	5,3	2,29
Alumbrado		30	empotrado en tubo	24	2	50	0,0136	0	41	253,8	45,2	7,2	2,40
Grupo electrog		30	empotrado en tubo	8,4	2	16	0,0426	0	15	131,4	14,5	2,5	1,81
MR1oesteH	Módulo 1			30									
Fuerza		30	empotrado en tubo	6	2	25	0,0273	0	10	171	22,6	4,6	2,63
Alumbrado		30	empotrado en tubo	24	2	70	0,0097	0	41	322,2	63,3	5,7	2,68
Grupo electrog		30	empotrado en tubo	8,4	2	25	0,0273	0	15	171	22,6	2,5	2,27
MR1oesteH	Módulo 2			30									
Fuerza		20	empotrado en tubo	6	2	16	0,0284	0	10	131,4	14,5	4,6	2,64
Alumbrado		20	empotrado en tubo	24	2	50	0,0091	0	41	253,8	45,2	5,7	2,67
Grupo electrog		20	empotrado en tubo	8,4	2	16	0,0284	0	15	131,4	14,5	2,4	2,28
MR1oesteH	Módulo 3			30									
Fuerza		2	empotrado en tubo	6	1	16	0,0028	0	10	73	7,2	6,0	2,53
Alumbrado		2	empotrado en tubo	24	1	16	0,0028	0	41	73	7,2	6,0	2,57
Grupo electrog		2	empotrado en tubo	8,4	1	16	0,0028	0	15	73	7,2	3,2	2,14
MR1oesteH	Módulo 4			30									

Fuerza		20	empotrado en tubo	6	2	25	0,0182	0	10	171	22,6	5,2	2,59
Alumbrado		20	empotrado en tubo	24	2	70	0,0065	0	41	322,2	63,3	5,9	2,63
Grupo electrog		20	empotrado en tubo	8,4	2	25	0,0182	0	15	171	22,6	2,7	2,22
MR1oesteH	Módulo 5			30									
Fuerza		30	empotrado en tubo	6	2	25	0,0273	0	10	171	22,6	4,6	2,63
Alumbrado		30	empotrado en tubo	24	2	70	0,0097	0	41	322,2	63,3	5,7	2,68
Grupo electrog		30	empotrado en tubo	8,4	2	25	0,0273	0	15	171	22,6	2,5	2,27
alaOesteH	Hospital			12									
Fuerza		200	subterráneo	4,8	1	35	0,1299	0	8	190	7,0	0,5	2,40
Alumbrado		200	subterráneo	7,2	1	35	0,1299	0	12	190	7,0	0,5	2,61
Grupo electrog		200	subterráneo	3,36	1	16	0,2841	0	6	125	3,2	0,4	1,90
alaOesteH	Comunicaciones			7,5									
Fuerza		150	subterráneo	3	1	25	0,1364	0	5	160	5,0	1,6	2,26
Alumbrado		150	subterráneo	4,5	1	25	0,1364	0	8	160	5,0	1,6	2,39
Grupo electrog		150	subterráneo	2,1	1	10	0,3409	0	4	96	2,0	0,7	1,74
alaOesteH	Taller			5									
Fuerza		100	subterráneo	2	1	6	0,3788	0	3	72	1,2	2,9	2,49
Alumbrado		100	subterráneo	3	1	6	0,3788	0	5	72	1,2	2,9	2,74

Grupo electrog		100	subterráneo	1,4	1	6	0,3788	0	2	72	1,2	1,1	1,62
alaOesteH	Servicios Generales			5									
Fuerza		50	subterráneo	2	1	16	0,0710	0	3	125	3,2	1,0	2,08
Alumbrado		50	subterráneo	3	1	16	0,0710	0	5	125	3,2	1,0	2,13
Grupo electrog		50	subterráneo	1,4	1	10	0,1136	0	2	96	2,0	1,0	1,38
alaOesteH	Centro de control			6									
Fuerza		2	empotrado en tubo	2,4	1	16	0,0028	0	4	73	7,2	2,9	2,32
Alumbrado		2	empotrado en tubo	3,6	1	16	0,0028	0	6	73	7,2	2,9	2,48
Grupo electrog		2	empotrado en tubo	1,68	1	10	0,0045	0	3	54	4,5	1,1	1,50
MR2esteM	Centro transformac ión			4									
Fuerza		50	subterráneo	1	2	6	0,2083		2	115,2	1,2	1,0	0,84
Alumbrado		50	subterráneo	3	2	6	0,2083		5	115,2	1,2	1,0	1,11
Grupo electrog		50	subterráneo	4	2	6	0,2083		7	115,2	1,2	1,0	0,74

Tabla 15: Características generales de los conductores

4. SELECCIÓN DE INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS

4.1. Teoría básica

4.1.1. Generalidades

Para la elaboración de este capítulo tomamos las siguientes referencias:

REBT	Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y sus Instrucciones Técnicas complementarias, así como la Guía Técnica de Aplicación del REBT
UNE – EN 60898-1	Interruptores automáticos para instalaciones domésticas y análogas para la protección contra sobrecargas (= IEC 60898-1)
UNE – EN 60947-2	Aparatos de baja tensión. Parte 2: Interruptores automáticos
UNE – EN 60947-3	Aparatos de baja tensión. Parte 3: Interruptores, seccionadores, interruptores-seccionadores y combinados fusibles
ITC-BT-22 del REBT	INSTALACIONES INTERIORES O RECEPTORAS. Protección contra sobrecargas
GUÍA-BT-22 del REBT	GUÍA TÉCNICA DE APLICACIÓN: PROTECCIONES. Protecciones: Protección contra sobrecargas
GUÍA-BT-ANEXO 3	GUÍA TÉCNICA DE APLICACIÓN ANEXOS. CÁLCULO DE CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO

Tabla 16: Reglamento y normas aplicadas para interruptores diferenciales

En una instalación de Baja Tensión se pueden producir ocasionalmente sobrecargas. Estas sobrecargas cabe clasificarlas en dos categorías:

- Sobrecargas, que son sobrecargas ligeramente superiores (entre 1 y 1,5 veces) a la intensidad nominal de la instalación.
- Cortocircuitos, que son intensidades varias veces superiores a la intensidad nominal, (de entre 5 y 20 veces la corriente nominal de la instalación).

La función de abrir el circuito cuando se produce una sobrecarga está encomendada principalmente a dos elementos: los fusibles y los interruptores automáticos; dado que los interruptores no necesitan ser sustituidos después de un

cortocircuito, estos elementos son los elegidos preferentemente dado su menor mantenimiento.

La aparatamenta de Baja Tensión está regulada por la norma UNE-EN-60947. La definición que da la norma UNE- EN-60947 del interruptor automático es:

“Aparato mecánico de conexión capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en las condiciones normales del circuito, así como de establecer, soportar durante un tiempo determinado e interrumpir corrientes en condiciones anormales especificadas del circuito tales como las de cortocircuito.”

Las principales funciones de los interruptores automáticos son:

- Protección frente a sobrecargas
- Protección frente a cortocircuitos.

La protección eléctrica de baja tensión normalmente se incorpora en los interruptores automáticos en forma de dispositivos magnetotérmicos.

4.1.2 Principios de funcionamiento

En el Reglamento de Baja Tensión, en el ITC-BT-17 indica que, todos los Interruptores Automáticos que protegen contra sobrecargas y cortocircuitos, los circuitos interiores tendrán que ser de CORTE OMNIPOLAR.

En la Figura 28 se muestra el esquema conceptual de un interruptor automático de baja tensión. Decimos que es el esquema conceptual porque en la actualidad muchos interruptores automáticos son electrónicos.

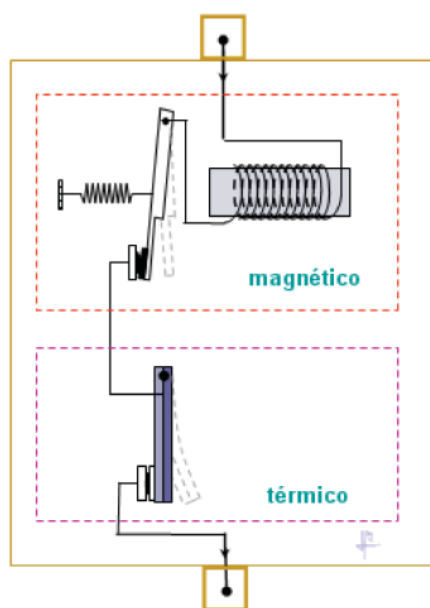


Figura 28: Esquema de funcionamiento de un interruptor automático.

Son cuatro las funciones principales que realiza un interruptor automático [1]:

- Protección contra sobrecarga, función térmica (ITC-BT-22 del REBT)
- Protección contra cortocircuito, función magnética (ITC-BT-22 del REBT)
- Seccionamiento de circuitos (ITC-BT-19 y -32 del REBT)
- Maniobras de conexión y desconexión manual o automática de una instalación y su señalización

SOBRECARGAS. (Función Térmica)

Como se indicó, una sobrecarga es un aumento no excesivamente grande de la intensidad y con una duración amplia en el tiempo.

Se pueden presentar durante los transitorios de arranque de algunos equipos, sobre todo si, este arranque se dilata mucho en el tiempo; cuando se conectan aparatos de mayor potencia de la prevista; cuando en una instalación todas sus cargas se conectan

simultáneamente y en el diseño de la instalación se había contemplado un factor de simultaneidad menor; y sobre todo, cuando una instalación necesita sucesivas ampliaciones y por tanto demanda más intensidad de la que se preveía en un principio.

Una sobrecarga se puede mantener durante un tiempo prolongado sin que perjudique a la instalación, este tiempo es tanto mayor cuanto menor sea la cuantía de la sobreintensidad, por eso se dice que la protección es “de tiempo inverso” (frecuentemente siguiendo una ley del tipo $I^2t = cte$).

CORTOCIRCUITOS. (Función Magnética)

Corresponden a defectos de aislamiento entre puntos que en condiciones normales se encuentran a diferente potencial, lo más usual es un cortocircuito entre fases y/o cortocircuito a tierra.

En función de la resistencia interpuesta entre las partes activas, o entre estas y tierra, se pueden producir:

- Cortocircuitos francos: resistencia interpuesta prácticamente nula.
- Cortocircuitos resistivos: corriente amortiguada por la resistencia de la falta.

Los cortocircuitos deben interrumpirse siempre (ya que crean defectos permanentes) y lo más rápidamente posible para reducir los daños y el riesgo de incendio, aunque por motivos de selectividad se admite la introducción de retardos breves (se trata de retardos de milisegundos).

SECCIONAMIENTO

Es una función de seguridad requerida para poder trabajar con las instalaciones en tensión, permitiendo separar la parte en tensión de la otra donde se encuentra por ejemplo una máquinas de elevación o transporte y poder así realizar trabajos de mantenimiento, para lo cual se necesita un elemento que cumpla las funciones de seccionamiento, cumpliendo la norma UNE-EN 60947-3 Aparata de baja tensión.

MANIOBRAS DE CONEXIÓN Y DESCONEXIÓN MANUAL O AUTOMÁTICA

Se pueden emplear los interruptores automáticos para conectar y desconectar cargas y circuitos, cuando las maniobras no sean frecuentes, además se puede señalizar el estado del interruptor automático tanto local como de forma remota dado que a estos interruptores se les puede acoplar bloques de contactos libres de potencial para esta función.

4.1.3. Clasificación de los Interruptores Automáticos

- Según la forma de instalación:
 - Fijo.
 - Enchufable.
 - Extraíble.
- Según el número de polos:
 - I, II, III y IV polos.
- Según la categoría de empleo:
 - A: sin previsión de retardo para selectividad.
 - B: con posibilidad de retardo para selectividad.
- Según la capacidad de almacenar energía de maniobra en el mecanismo, posibilitando el cierre a distancia y el reenganche rápido.
- Según las posibilidades de seccionamiento.
- Según el tipo de disparadores o relés:
 - Magnetotérmicos
 - Magnéticos únicamente
 - Térmicos únicamente
 - Electrónicos
- Según el grado de protección de la envolvente IP.
- Según el medio de extinción del arco:
 - Aire
 - Vacío
 - Gas

4.1.4. Principales tipos de Interruptores Automáticos

La norma aplicable a este tipo de interruptores es la UNE-EN 60947-2 Aparata de baja tensión. [1]

- **Interruptores automáticos de bastidor abierto**

Estos interruptores se utilizarán para alimentaciones de gran intensidad, a partir de 800A aproximadamente, y para motores de potencia igual o superior a 110 kW, cumpliendo las siguientes características:

- Corte al aire.
- Ejecución extraíble (posición insertado, prueba y extraído). Enclavamiento mecánico mediante llaves en posición de extraído.
- Mando manual y eléctrico a través de selectores.
- Carga de muelles motorizada y manual.
- Contactos auxiliares para señalización de estado y de disparo de protecciones.

Estos interruptores pueden llevar incorporados captadores de corriente y relés electrónicos selectivos con elementos de disparo diferido de larga y corta duración. También se puede incorporar funciones de regulación de intensidad y de tiempo.



Figura 29: Interruptor automático de bastidor abierto

- **Interruptores automáticos de caja moldeada**

Estos interruptores se utilizarán para las salidas de alimentación sin estar limitados en su corriente asignada, que puede alcanzar varios millares de amperios, cumpliendo lo siguiente:

- Ejecución enchufable.
- Protección magnetotérmica para las salidas de alimentación
- Bobina de disparo.

- Contactos auxiliares libres de potencial para señalización de estado y de disparo de protecciones.



Figura 30: Interruptor automático de caja moldeada

- **Interruptores automáticos modulares (ITC-BT-22 del REBT)**

También denominados “PIA” (pequeño interruptor automático) se presentan en “ejecución fija” de 1, 2, 3 o 4 polos apilables de uno en uno. Están dotados de las funciones magnética y térmica y se les suele denominar también magnetotérmicos. Su corriente nomina (asignada) está limitada a 125 A y la tensión máxima de empleo hasta 440 V. El poder de corte de estos interruptores va de 6 kA a 50 kA.

En este tipo de interruptores automáticos los disparadores o relés de protección no son regulables, aunque su curva de protección puede ser elegida entre varios tipos (las curvas de protección se mostrarán en el siguiente apartado).

Pueden incorporar módulos y accesorios que realicen otras funciones, como:

- Contactos auxiliares.
- Mando motorizado.
- Disparadores de mínima tensión.

La norma aplicable a estos aparatos es la UNE-EN 60898-1 Interruptores automáticos para instalaciones domésticas y análogas para la protección contra sobreintensidades. Es la versión española de la norma europea armonizada EN 60898-1 con el mismo título, derivada a su vez de la norma internacional IEC 60898-1.

El término “análogos” en el título de la norma se refiere al tipo de usuario: emplazamientos domésticos y instalaciones del sector terciario. Sin embargo, estos interruptores automáticos también se emplean en instalaciones industriales, en calibres de hasta 125 A y características apropiadas para las mismas, intensidad nominal, intensidad de cortocircuito, etc



Figura 31: Interruptores automáticos modulares

- **Interruptores automáticos limitadores**

Un interruptor automático limitador es aquel en el que el tiempo de interrupción es suficientemente corto como para impedir que la corriente alcance su valor de cresta (véase la figura).

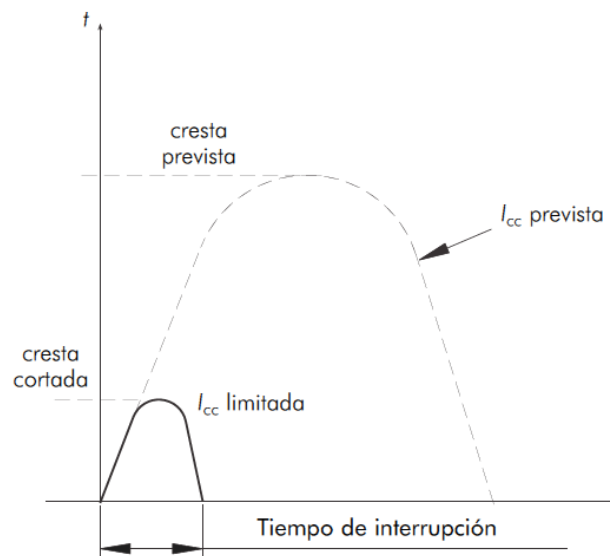


Figura 32: Actuación de un IA limitador

Existen Interruptores Limitadores de “caja moldeada” y de “corte al aire”. Se caracterizan por tener un “poder de corte último” (I_{cu}) muy elevado (el concepto de poder de corte último será presentado en el próximo apartado).

4.1.5. Curvas de Actuación

4.1.5.1. Características de actuación

CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS CON LA TENSIÓN

- Tensión asignada de empleo (U_e). Valor de tensión nominal, combinado con la corriente de empleo asignada. A esta tensión es a la que se realizan los ensayos especificados en las normas. Las categorías de empleo por ejemplo son:

- Interruptores Automáticos modulares:

$$U_e = 230 \text{ V}_{CA}$$

$$U_e = 400 \text{ V}_{CA} \text{ bi-tri y tetrapolares}$$

- Interruptores Automáticos industriales:

$$U_e = 230 - 400 - 690 - 1000 \text{ V}_{CA}$$

- Tensión asignada de aislamiento (U_i). Es el valor de tensión al que están referidos los ensayos dieléctricos y el aislamiento en las normas. En ningún caso la tensión U_e puede exceder la U_i .
- Tensión asignada de impulso soportado (U_{imp}). Es el valor de cresta de la onda de impulso tipo rayo (1,2/50 μs) que el Interruptor Automático puede soportar en las condiciones especificadas. Las distancias al aire están relacionadas.

- Interruptores Automáticos modulares:

$$\text{Valor típico: } 4 \text{ kV}$$

- Interruptores Automáticos industriales:

$$\text{Valores típicos: } 6 \text{ kV y } 8 \text{ kV (12 kV en IA abiertos)}$$

Estos valores están coordinados con las categorías de aislamiento II, III y IV de la ITC-BT-23 del REBT.

CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS CON LA CORRIENTE

- Corriente asignada (I_n). Corriente que el interruptor automático puede conducir en servicio continuo.

- Interruptores automáticos modulares: están normalizados con los siguientes valores.

$$I_n = (6, 10, 13, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125) \text{ A}$$

- Interruptores automáticos industriales: no se establecen valores concretos según las normas, pero en general, los fabricantes adoptan los siguientes valores.

- Interruptores automáticos de caja moldeada: (125, 160, 250, 400, 630, 800, 1250, 1600, 2000, 2500, 3200) A
- Interruptores automáticos al aire (800, 1250, 1600, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000, 6300) A
- Corriente de corta duración soportada asignada (I_{cw}). Se aplica únicamente a los interruptores automáticos industriales, es la corriente de cortocircuito que un interruptor automático en posición cerrado puede soportar en condiciones dadas durante un tiempo determinado. Esta característica es fundamental cuando se desea conseguir un comportamiento selectivo con otros interruptores automáticos aguas abajo. Viene dada en kA eficaces se debe indicar el tiempo, entre (0,05 – 0,1 – 0,25 – 0,5 – 1) segundos.

PRESTACIONES ASIGNADAS EN CORTOCIRCUITO

- Poder de cierre de cortocircuito asignado (I_{cm}). Es el valor de la corriente declarado por el fabricante que el interruptor automático puede establecer de forma correcta bajo condiciones de cierre especificadas (tensión, frecuencia y factor de potencia).
- Poder de corte de cortocircuito último asignado (I_{cu}) en Interruptores Automáticos industriales, o poder de corte de cortocircuito asignado (I_{cn}) en Interruptores Automáticos modulares. Es la máxima corriente de cortocircuito que el Interruptor Automático puede interrumpir dos veces según el ciclo “O-t-CO” con la tensión de empleo asignada. Donde “O” es la operación de apertura automática; “CO” es la operación de cierre sobre cortocircuito y seguida de apertura automática; y “t” es el intervalo de tiempo entre dos operaciones, normalmente $t = 3$ min.

El poder de corte se expresa en kA eficaces simétrico, siendo los valores normalizados para interruptores Automáticos modulares:

(1,5 – 3 – 4,5 – 6 – 10 – 15 – 20 – 25) kA.

- Poder de corte de servicio asignado (I_{cs}). Es la máxima corriente de cortocircuito que el Interruptor Automático puede cortar tres veces, según el ciclo “O-t-CO-t-CO” con la tensión asignada de empleo (U_e).

Este concepto es el mismo en los Interruptores Automáticos industriales y en los modulares, expresado en kA eficaces simétricos.

Se expresa en porcentaje de I_{cu} .

La Figura 33 resume las principales magnitudes características de un interruptor automático.

Principales características del anexo K de la UNE 60947-2		
Características de tensión	U_e	Tensión asignada de empleo
	U_i	Tensión asignada de aislamiento
	U_{imp}	Tensión asignada de resistencia a los choques
Características de intensidad	I_n	Intensidad nominal
	I_{th}	Intensidad térmica convencional al aire libre
	I_{the}	Intensidad térmica convencional en envolvente
	I_u	Intensidad nominal ininterrumpida
Características de cortocircuito	I_{cm}	Poder de cierre
	I_{cu}	Poder de corte ultimo
	I_{cs}	Poder de corte en servicio
	I_{cw}	Intensidad asignada de corta duración admisible
Características de la unidad de control	I_r	Intensidad de regulación de sobrecarga ajustable
	$1,05 \times I_r$	Intensidad convencional de no disparo
	$1,30 \times I_r$	Intensidad convencional de disparo
	I_i	Intensidad de regulación de disparo instantáneo
	I_{sd}	Intensidad de regulación de disparo de corto retardo

Figura 33: Tabla H2-3-005: principales características de actuación (anexo K UNE 60947-2)

CATEGORÍAS DE UTILIZACIÓN

Clasifica los interruptores según si tienen la posibilidad de incorporar retardos en su actuación, los cuales tendrán como objetivo conseguir una selectividad con los interruptores aguas abajo, posibilitando la inhibición del interruptor esperando la actuación del interruptor más cercano a la falta. Aplica sólo a interruptores automáticos industriales y no a pequeños interruptores automáticos (PIA)

- **Categoría A:** Interruptores Automáticos diseñados para no ser específicamente selectivos ante cortocircuitos con otros dispositivos aguas abajo en serie; es decir, no poseen una corriente de corta duración soportada asignada (I_{cw}).
- **Categoría B:** Interruptores Automáticos diseñados para ser selectivos con otros dispositivos en serie aguas abajo, ante cortocircuitos. Se puede implementar en la función de disparo un retardo para posibilitar la selectividad con los interruptores automáticos situados aguas abajo. Estos Interruptores Automáticos sí que tienen definido un valor de corriente de cortocircuito de corta duración asignada (I_{cw}).

4.1.5.2. Curvas características de actuación

4.1.5.2.1. Generalidades

La respuesta de un interruptor automático depende de la curva característica, en la cual se pueden distinguir dos partes, una es la del disparo térmico (protección contra sobrecargas) y otra es la del disparo magnético (protección frente a cortocircuitos). Suele ser una curva difusa ya que el tiempo que tarda en cortar un interruptor automático depende de la temperatura ambiente, el grado de carga previo a la sobrecarga, etc. Por eso se establece una banda de tolerancia. Por esa razón en la tabla de la Figura 34 se define una intensidad convencional de no disparo ($1,05 \cdot I_r$, donde I_r será definida seguidamente) y una intensidad convencional de disparo ($1,3 \cdot I_r$). [2]

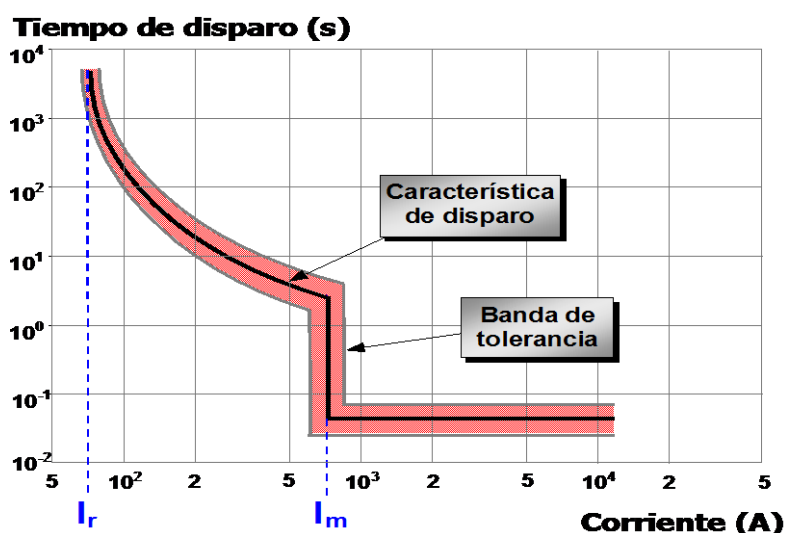


Figura 34: Curva característica de respuesta de un interruptor

Donde:

I_r es la corriente de disparo por sobrecarga

I_m es la corriente de disparo por cortocircuito

La intensidad asignada de un interruptor debe cumplir:

$$I_b < I_n < I_z$$

Siendo:

I_b = corriente demandada por la carga.

I_n = corriente nominal del dispositivo de protección

I_z = corriente máxima admisible por el cable de alimentación a la carga

En este sentido, en realidad el interruptor automático lo que protege es el cable, más que la carga. Por tanto, un aspecto muy importante a tener en cuenta es que cuando un interruptor automático protege un cable, la curva de actuación del interruptor automático debe quedar siempre por debajo de la curva de daños del cable, de forma que la protección actúe antes de que el cable quede dañado (véase la Figura 35).

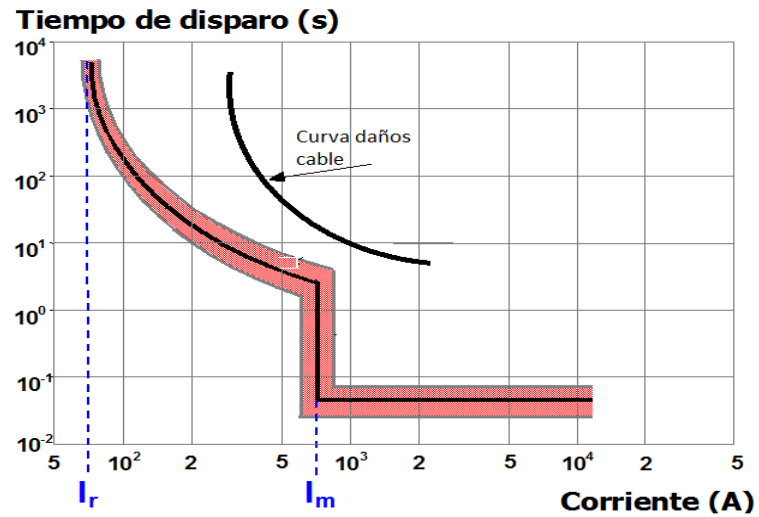


Figura 35: Curva de actuación de un interruptor automático

4.1.5.2.2. Curvas de actuación

La elección de un interruptor automático se corresponde con las características de la carga que conecta, por ello, se distinguen diferentes curvas de actuación como se muestra en la Figura 36 [2]:

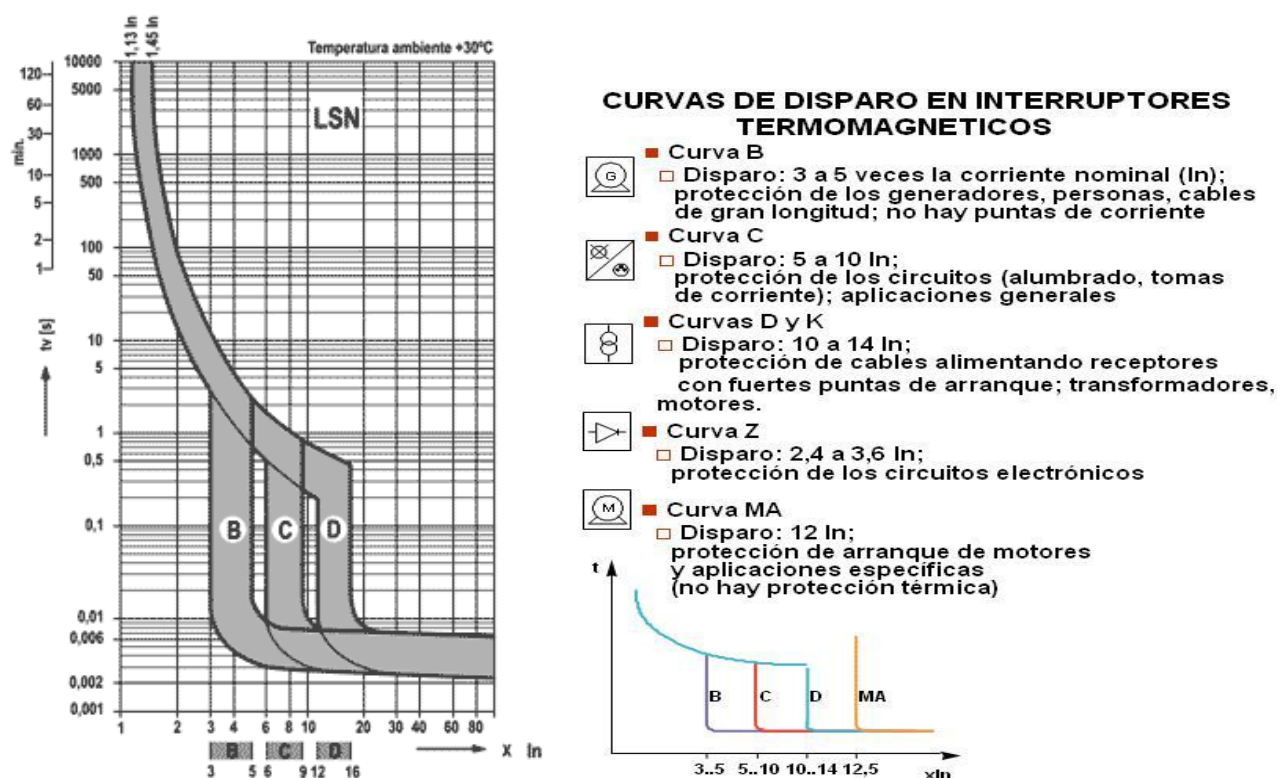


Figura 36: Curva de disparo en interruptores termomagnéticos

En cada curva se da una envolvente máxima y una envolvente mínima:

- $1,13 \cdot I_n$: para cuando el interruptor está caliente
- $1,45 \cdot I_n$: para cuando el interruptor está en frío

$$1,13I_n \leq I_r \leq 1,45I_n$$

- **Curva de disparo tipo B**

Este tipo de curva es utilizada para proteger grandes longitudes de líneas (por ejemplo las líneas de consumo), generadores y personas. En estos casos la intensidad de cortocircuito suele ser reducida.

$$3I_n \leq I_M \leq 5I_n$$

- **Curva de disparo tipo C**

Este tipo de curva es utilizada para proteger líneas y receptores en general. Son las que más se utilizan en instalaciones de Baja Tensión, en el uso doméstico y análogo: alumbrado, toma de corriente... En este caso la intensidad de cortocircuito tiene el valor habitual.

$$5I_n \leq I_M \leq 10I_n$$

- **Curva de disparo tipo K**

Este tipo de curva es utilizada para circuitos inductivos (en motores, bombas, ventiladores...). Como el arranque del motor no causa disparos intempestivos, debe acompañarse con relés térmicos que protejan el motor contra sobrecargas.

$$8I_n \leq I_M \leq 12I_n$$

- **Curva de disparo tipo D**

Este tipo de curva es utilizada para proteger motores y transformadores de BT/BT monofásicos y trifásicos (circuitos fuertemente inductivos). Son las más utilizadas para circuitos inductivos con fuertes puntas de corriente de conexión.

$$10I_n \leq I_M \leq 20I_n$$

- **Curva de disparo tipo Z**

Este tipo de curva es utilizada en interruptores automáticos asignándose la protección de la alimentación de circuitos electrónicos de semiconductores, así como circuitos secundarios de medida

$$2I_n \leq I_M \leq 3I_n$$

$$1,05I_n \leq I_r \leq 1,2I_n$$

Es importante señalar que en una instalación pueden existir diferentes cortocircuitos (más próximos a la fuente de alimentación, más alejados, monofásicos, trifásicos). No sólo debe comprobarse que el interruptor automático es capaz de despejar el cortocircuito que da lugar a la corriente más elevada (frecuentemente el cortocircuito trifásico en el punto más cercano a la fuente de alimentación), sino también la menor de las corrientes de cortocircuito (frecuentemente un cortocircuito fase-neutro en bornas de la carga).

4.2. Selectividad de protecciones

4.2.1. Definición

El objetivo de la selectividad es desconectar de la red el consumidor o rama del circuito que presente un defecto ya que el seguir conectado presenta un riesgo para esa parte de la instalación. No obstante, esta desconexión debe ser selectiva, es decir, que únicamente el interruptor encargado de la protección de la parte de la instalación que presenta el defecto debe disparar, consiguiendo así, el objetivo de continuidad del servicio para el resto de los usuarios.

Si no se realiza un estudio de selectividad, un defecto eléctrico puede producir el disparo de varios dispositivos de protección. En ese caso un único defecto puede provocar la pérdida de tensión en una parte más o menos grande de una instalación, dando como resultado una pérdida anormal de disponibilidad de energía eléctrica en circuitos sanos, es decir, sin defecto.

4.2.2. Selectividad de interruptores automáticos en función del tipo de defecto

Las técnicas de la selectividad para interruptores automáticos se han de adaptar a los diferentes tipos de defecto, a cada tipo de defecto le corresponde un tipo de dispositivo de protección específico.[3]

- Sobrecargas

Estas sobrecorrientes están comprendidas entre 1 y 2 veces la intensidad nominal. Su eliminación debe hacerse en un tiempo menor al que los conductores afectados son capaces de soportar esa intensidad antes de sufrir daños.

El tiempo de disparo es generalmente inversamente proporcional al cuadrado de la corriente de disparo, por lo que se llaman «de tiempo inverso».

La selectividad de los interruptores automáticos se realiza comparando las curvas tiempo/intensidad de los disparos de largo retardo afectados por la falta (véase la Figura 37).

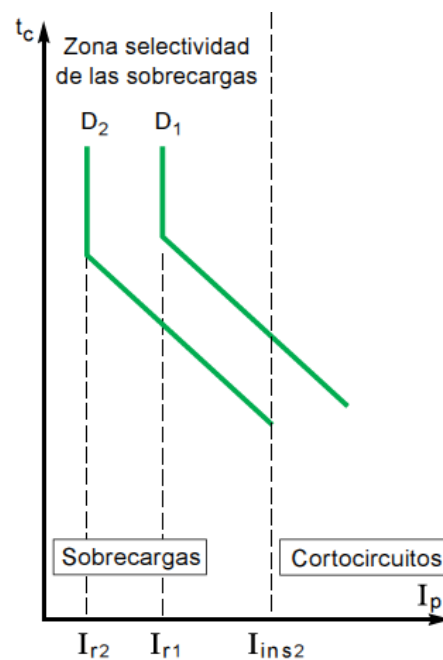


Figura 37: Selectividad en sobrecarga

Esta selectividad queda asegurada si, para cualquier valor de la corriente de sobrecarga, el tiempo de inhibición del interruptor aguas arriba, D_1 , es superior al tiempo máximo de corte del interruptor automático D_2 (incluido el tiempo de extinción del arco). Esta condición se cumple en la práctica si la razón I_{r1}/I_{r2} es mayor que 1,6.

- Cortocircuitos

Debido a la gran intensidad asociada a las corrientes de cortocircuito y sobre todo a la presencia de los arcos eléctricos que normalmente los acompañan, los circuitos deben quedar interrumpidos casi instantáneamente, en menos de algunas centenas de milisegundos.

La selectividad puede tratarse, en parte, comparando las curvas tiempo/corriente en tanto que el tiempo de actuación, (t_c), sea mayor de decenas e incluso podría llegar a algunas centenas de milisegundo, dependiendo de los casos. Pero, por una parte, estas curvas son un instrumento insuficientemente preciso para trabajar con exactitud.

Como se verá en el siguiente apartado las técnicas que permiten obtener una selectividad frente al cortocircuito entre dos interruptores automáticos son variadas y su aplicación también va a depender en gran medida de los tipos de interruptores que tengamos, modulares, caja moldeada o bastidor abierto, y de sus características de intensidad nominal y de cortocircuito.

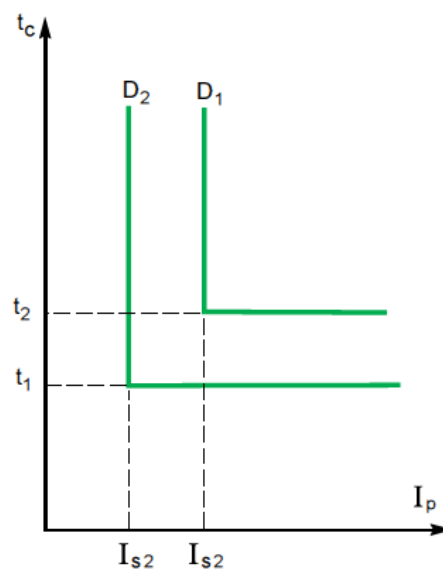


Figura 38: Selectividad ante cortocircuitos mediante las curvas tiempo/corriente

4.2.3. Técnicas para conseguir selectividad

Conseguir la selectividad consiste habitualmente en retardar el disparo de un determinado interruptor automático respecto a los que están situados aguas abajo de él. Este objetivo se consigue mediante los siguientes criterios: [3]

1. Selectividad amperimétrica

Se obtiene ajustando la intensidad umbral de disparo de los relés instantáneos o de corto retardo de los interruptores automáticos del circuito.

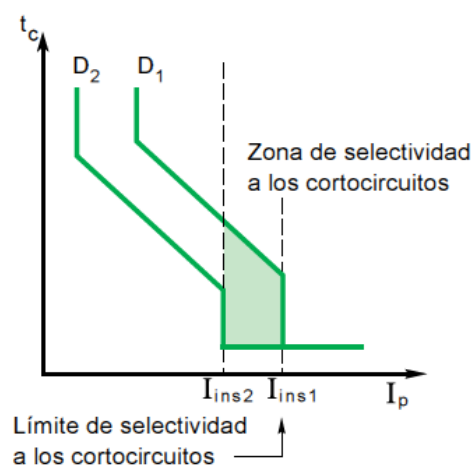


Figura 39: Selectividad amperimétrica

La selectividad queda asegurada si el umbral máximo de corriente de disparo del relé del dispositivo aguas abajo es inferior al umbral mínimo del dispositivo aguas arriba, incluidas todas las tolerancias (ver Figura 39).

Se utiliza normalmente en el caso de defectos de cortocircuito y lleva generalmente asociada otra selectividad (por ejemplo cronométrica), en caso contrario, la selectividad será parcial limitada por el umbral de actuación del dispositivo aguas arriba (Figura 39).

2. Selectividad cronométrica

Para asegurar la selectividad más allá de ajustar los umbrales de corto retardo (I_{CR1}) entre los dispositivos, es posible utilizar una temporización, ajustable o no, en el dispositivo agua arriba ($D1$ en la Figura 40).

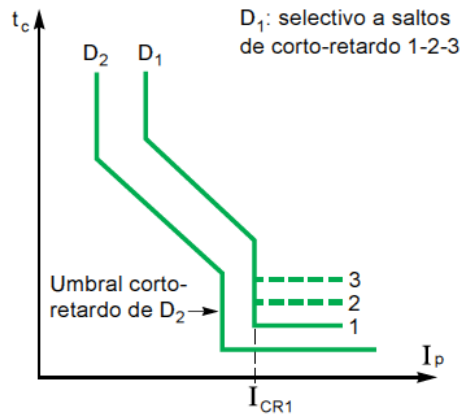


Figura 40: Selectividad cronométrica

Esta solución sólo es válida cuando el aparato situado aguas arriba pueda soportar la corriente de cortocircuito durante el tiempo de la inhibición. Por tanto, es utilizable sólo en los aparatos de gran resistencia electrodinámica llamados también «selectivos».

La Resistencia electrodinámica (TED) se define como la capacidad de un aparato para soportar por construcción los efectos electrodinámicos de una corriente de cortocircuito, especialmente sin repulsión o conexión de los contactos principales.

Cuando tenemos dos interruptores automáticos en serie, las dos funciones de temporización, cuando existen, se ajustan de tal manera que sean selectivas entre ellas, es decir, el ajuste del tiempo máximo de actuación (incluido el tiempo de corte) en el interruptor aguas abajo, debe de ser menor que el tiempo mínimo de detección del interruptor automático inmediatamente precedente.

3. Selectividad pseudocronométrica

Está asociada al uso de un interruptor automático limitador de corriente aguas abajo, la corriente de cortocircuito real queda reducida tanto en amplitud como en duración y tanto más cuanto mayor sea la corriente de cortocircuito. En caso de un cortocircuito en una derivación aguas abajo el elemento captador del interruptor situado aguas arriba detecta por tanto una corriente mucho menor. Esto hace que la curva de disparo tiempo/corriente del aparato aguas abajo, tenga un tiempo «equivalente» de disparo, que disminuye sensiblemente cuando la corriente de cortocircuito aumenta.

La comparación de la curva del interruptor aguas abajo con la curva de detección del interruptor aguas arriba, pone en evidencia la selectividad de los dos interruptores. Se califica de pseudocronométrica porque no hay que implementar un retardo programado en su característica de disparo (ver Figura 41).

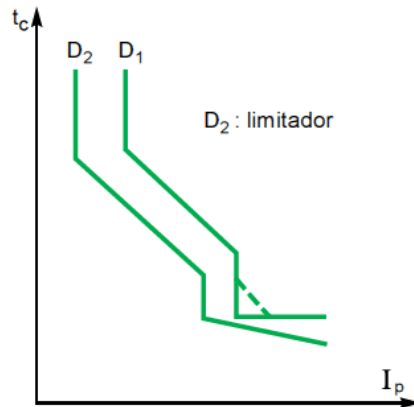


Figura 41: Selectividad pseudocronométrica

La utilización en D_1 de un relé de corto-retardo dependiente (línea de puntos en la Figura 41) favorece la selectividad.

Esta solución, por su efecto de limitación y la rápida eliminación del defecto, permite además limitar los esfuerzos térmicos y electrodinámicos en la instalación.

4. Selectividad lógica.

Es quizás el sistema más elaborado y complejo y requiere un sistema de transferencia de información entre los relés de los interruptores automáticos de las diferentes posiciones tanto de aguas arriba como abajo, esto puede lograrse conectando los diferentes relés a un sistema de captación de datos mediante cables de fibra óptica, para lo cual los relés deben ser compatibles con los protocolos del sistema de captación utilizado.

Se aplica a los interruptores automáticos BT selectivos de gran intensidad, en la actualidad estos sistemas se están desarrollando e implementado con extraordinaria rapidez.

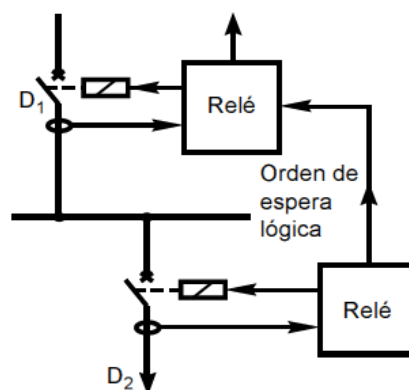


Figura 42: Principio de funcionamiento de la selectividad lógica

Un relé que ve una corriente mayor que su umbral de funcionamiento D_2 envía una orden lógica de temporización al relé del interruptor automático inmediatamente anterior a él, D_1 .

El relé del interruptor automático situado inmediatamente por encima del cortocircuito D_2 , actúa inmediatamente, sea cual sea su temporización, puesto que no recibe orden de espera, mientras que D_1 al recibir orden de inhibición esperara a que D_2 despeje la falta, la temporización será la fijada en el relé.

La selectividad lógica suele utilizarse junto a la selectividad cronométrica y permite reducir los tiempos de eliminación de los defectos.

4.3. Selección de los diferentes interruptores automáticos

4.3.1. Forma de distribución de los interruptores automáticos

Para seleccionar los diferentes interruptores los dividiremos en tres niveles [4]:

- Nivel A: Cuadro General de Baja Tensión
- Nivel B: cuadros de distribución/ cuadros secundarios
- Nivel C: distribución terminal/ subcuadros

Nivel A: CGBT

El CGBT es el cuadro que alimenta toda la instalación, su nivel de funcionamiento es fundamental para el adecuado suministro de energía. En este nivel las corrientes de cortocircuito son elevadas debido a que el cuadro se encuentra situado próximo a los transformadores y a que los juegos de barras están sobredimensionados para soportar estas intensidades. Por ello, en estos niveles se suelen utilizar interruptores automáticos con elevadas intensidades, como es el caso de interruptores de bastidor abierto.

Estos interruptores tienen un elevado poder de corte, entre 40-150kA, con un calibre nominal de 1000 a 5000 A.

En el caso de que se produzca un cortocircuito aguas abajo del interruptor, este no debería actuar salvo que falle el interruptor al que le toca actuar. Debido a ello se elegirá un interruptor temporizado para garantizar la continuidad del servicio por la selectividad total.

En el caso que nos ocupa, la intensidad nominal de cada uno de los transformadores de 800 kVA es:

$$I_N = \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{800.000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 1.155 \text{ A}$$

Y la intensidad de cortocircuito según es:

$$I_{cc} = \frac{U/\sqrt{3}}{Z_{red} + Z_{trafo}} = \frac{400/\sqrt{3}}{j 0,00032 + j 0,006} = 36,3 \text{ kA}$$

Donde:

$$Z_{red} = \frac{U^2}{P} = \frac{400^2}{500 \cdot 10^6} = j 0,00032 \text{ ohmios}$$

$$Z_{trafo} = X_{cc} \cdot \frac{U^2}{P} = 0,006 \cdot \frac{400^2}{800 \cdot 10^3 / 2} = j 0,006 \text{ ohmios}$$

Nivel B: cuadro de distribución/secundarios

La necesidad de continuidad del servicio en este nivel sigue siendo muy elevada. Las fuentes de alimentación siguen encontrándose cerca de los cuadros, ya que las distancias entre el transformador y los cuadros son cortas (inferiores a 5 m) y los conductores aguas arriba son muy gruesos, por ello las corrientes de cortocircuito pueden llegar ser próximas a los 36,3 kA calculados.

En este nivel las protecciones deben estar perfectamente coordinadas con las de aguas arriba y con las de aguas abajo; deben limitar los esfuerzos sobre los conductores.

En este caso se elegirá un interruptor de caja moldeada porque poseen un poder de corte de hasta 150 kA, con calibre nominal de 100 a 1600 A.

Nivel C: subcuadros

Por último, en este nivel, las protecciones deben limitar los esfuerzos sobre los cables, contactos y receptores. Las corrientes de cortocircuito ya no son tan elevadas, en pocas ocasiones llegan a algunos kA (ver Tabla 17: Selección de interruptores automáticos según su I_n y PdC), por ello se suelen utilizar interruptores magnetotérmicos. Estos interruptores deben coordinarse con los interruptores de aguas arriba. Tienen un calibre nominal entre 1,5-125 A en función de las cargas a alimentar y un poder de corte de 6 a 50 kA. Según se aprecia en la Tabla 17, la mayoría de las líneas que parten de los subcuadros C tienen un intensidad de cortocircuito inferior a 6 kA, por lo que valdrá con instalar interruptores magnetotérmicos convencionales. Pero también se aprecia en esa misma tabla que existen excepciones en las que la intensidad de cortocircuito llega a valer hasta 30 kA, en esos casos debe elegirse un interruptor automático con un poder de corte superior.

4.3.2. Hoja: Resumen 2

La Tabla 17 a continuación explicada, es la continuación del Libro Excel presentado anteriormente (Ver Figura 43).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
2	DE	A	P (kW)	I _b (A)	I _n (A)	I _z (A)	PdC (kA)	I _{cc} (kA)	I _{cc} min (kA)	Tipo de interruptor	
3	Trafo	CGBT	640	1105	1250	1522	50	36,3	18,15	interruptor automático de bastidor abierto 1250 (50kA)	
4	CGBT	Zona Hombres	302	521	630	634	50	36,2	18,09	interruptor automático de caja moldea 630 (50kA)	
5	Grupo electrog		85	146	160	176	36	34,9	17,46	interruptor automático de caja moldea 160 (36kA)	
6	CGBT	Zona Mujeres	302	521	630	634	50	36,2	18,09	interruptor automático de caja moldea 630 (50kA)	
7	Grupo electrog		85	146	160	176	36	34,9	17,46	interruptor automático de caja moldea 160 (36kA)	
8	CGBT	Zona de Servicios	36	62	125	141	36	33,6	16,78	interruptor automático de caja moldea 125 (36kA)	
9	Grupo electrog		10	17	125	141	36	33,6	16,78	interruptor automático de caja moldea 125 (36kA)	
10	Zona Hombres	MR1oesteH	150	259	630	1805	36	6,1	3,04	interruptor automático de caja moldeada 630 (36kA)	
11	Grupo electrog		42	73	160	425	25	3,3	1,66	interruptor automático de caja moldea 160 (25kA)	
12	Zona Hombres	MR2norteH	150	259	630	705	36	10,0	4,98	interruptor automático de caja moldea 630 (36kA)	
13	Grupo electrog		42	73	160	335	25	4,4	2,20	interruptor automático de caja moldea 160 (25kA)	
14	Zona Hombres	alaOesteH	35,5	61	160	335	25	3,0	1,51	interruptor automático de caja moldea 160 (25kA)	
15	Grupo electrog		9,94	17	160	190	25	1,2	0,59	interruptor automático de caja moldea 160 (25kA)	
16	Zona Mujeres	MR1surM	150	259	630	705	36	10,0	4,98	interruptor automático de caja moldea 630 (36kA)	
17	Grupo electrog		42	73	160	280	25	3,3	1,66	interruptor automático de caja moldea 160 (25kA)	
18	Zona Mujeres	MR2esteM	150	259	630	680	36	32,6	16,32	interruptor automático de caja moldea 630 (36kA)	
19	Grupo electrog		42	73	630	680	36	28,2	14,10	interruptor automático de caja moldea 630 (36kA)	
20	Zona Mujeres	alaEsteM	35,5	61	160	230	25	5,0	2,51	interruptor automático de caja moldea 160 (25kA)	
21	Grupo electrog		9,94	17	160	160	25	2,5	1,24	interruptor automático de caja moldea 160 (25kA)	
	Zona Oficinas										
Inicio Datos de la instalación Al aire Subterráneos Caída de tensión I _{cc} max Resumen(1) I _{cc} min (IA) Resumen(2)											

Figura 43: Extracto del Libro Excel: hoja Resumen 2

Las celdas que componen las columnas A, B, C, D, F, H e I son celdas de entrada identificadas y calculadas en las anteriores hojas del Libro Excel. Las celdas de las columnas E, G y J son celdas de salida.

Según la teoría explicada en el apartado de interruptores automáticos, para seleccionar adecuadamente un interruptor automático, este tiene que cumplir:

$$I_b < I_n < I_z$$

Donde:

I_b es la corriente demandada por la carga.

I_n es la corriente nominal del dispositivo de protección (el calibre).

I_z es la corriente máxima admisible por el cable.

La columna E de esta hoja de cálculo lleva a cabo esta función, teniendo en cuenta las corrientes normalizadas:

- Interruptores modulares:

$I_n = (6, 10, 13, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125) \text{ A}$

- Interruptores automáticos de caja moldeada:

$I_n = (125, 160, 250, 400, 630, 800, 1250, 1600, 2000, 2500, 3200) \text{ A}$

- Interruptores automáticos al aire:

$I_n = (800, 1250, 1600, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000, 6300) \text{ A}$

Además de esta condición, se tiene que cumplir también que la intensidad de poder de corte de cortocircuito sea superior a la intensidad de cortocircuito. De esto se encarga la columna G; e igual que la columna E, tiene en cuenta los valores normalizados de poder de corte.

Los resultados finales de elección de interruptores automáticos se contemplan en la Tabla 17.

DE	A	P (kW)	Ib (A)	In (A)	Iz (A)	PdC (kA)	Icc (kA)	Icc min (kA)	Tipo de interruptor
Trafo	CGBT	640	1105	1250	1522	50	36,3	18,15	interruptor automático de bastidor abierto 1250 (50kA)
CGBT	Zona Hombres	302	521	630	634	50	36,2	18,09	interruptor automático de caja moldea 630 (50kA)
Grupo electrog		85	146	160	176	36	34,9	17,46	interruptor automático de caja moldea 160 (36kA)
CGBT	Zona Mujeres	302	521	630	634	50	36,2	18,09	interruptor automático de caja moldea 630 (50kA)
Grupo electrog		85	146	160	176	36	34,9	17,46	interruptor automático de caja moldea 160 (36kA)
CGBT	Zona de Servicios	36	62	125	141	36	33,6	16,78	interruptor automático de caja moldea 125 (36kA)
Grupo electrog		10	17	125	141	36	33,6	16,78	interruptor automático de caja moldea 125 (36kA)
Zona Hombres	MR1oesteH	150	259	630	1805	36	6,1	3,04	interruptor automático de caja moldeade 630 (36kA)
Grupo electrog		42	73	160	425	25	3,3	1,66	interruptor automático de caja moldea 160 (25kA)
Zona Hombres	MR2norteH	150	259	630	705	36	10,0	4,98	interruptor automático de caja moldea 630 (36kA)
Grupo electrog		42	73	160	335	25	4,4	2,20	interruptor automático de caja moldea 160 (25kA)
Zona Hombres	alaOesteH	35,5	61	160	335	25	3,0	1,51	interruptor automático de caja moldea 160 (25kA)

Grupo electrog		9,94	17	160	190	25	1,2	0,59	interruptor automático de caja moldea 160 (25kA)
Zona Mujeres	MR1surM	150	259	630	705	36	10,0	4,98	interruptor automático de caja moldea 630 (36kA)
Grupo electrog		42	73	160	280	25	3,3	1,66	interruptor automático de caja moldea 160 (25kA)
Zona Mujeres	MR2esteM	150	259	630	680	36	32,6	16,32	interruptor automático de caja moldea 630 (36kA)
Grupo electrog		42	73	630	680	36	28,2	14,10	interruptor automático de caja moldea 630 (36kA)
Zona Mujeres	alaEsteM	35,5	61	160	230	25	5,0	2,51	interruptor automático de caja moldea 160 (25kA)
Grupo electrog		9,94	17	160	160	25	2,5	1,24	interruptor automático de caja moldea 160 (25kA)
Zona Servicios	Oficinas Generales S	8,5							
Fuerza		3,4	6	63	96	10	0,5	0,23	interruptor magnetitérmico (10kA)
Alumbrado		5,1	9	63	96	10	0,5	0,23	interruptor magnetitérmico (10kA)
Grupo electrog		2,38	4	63	96	10	0,5	0,23	interruptor magnetitérmico (10kA)
Zona Servicios	Cuerpo de Guardia S	5							
Fuerza		2	3	63	72	10	0,4	0,20	interruptor magnetitérmico (10kA)
Alumbrado		3	5	63	72	10	0,4	0,20	interruptor magnetitérmico (10kA)

Grupo electrog		1,4	2	63	72	10	0,4	0,20	interruptor magnetitérmico (10kA)
Zona Servicios	Comunicaciones S	7,5							
Fuerza		3	5	63	72	10	0,3	0,14	interruptor magnetitérmico (10kA)
Alumbrado		4,5	8	63	72	10	0,3	0,14	interruptor magnetitérmico (10kA)
Grupo electrog		2,1	4	63	72	10	0,3	0,14	interruptor magnetitérmico (10kA)
Zona Servicios	Centro de control S	8							
Fuerza		3,2	6	63	72	10	0,4	0,20	interruptor magnetitérmico (10kA)
Alumbrado		4,8	8	63	72	10	0,4	0,20	interruptor magnetitérmico (10kA)
Grupo electrog		2,24	4	63	72	10	0,4	0,20	interruptor magnetitérmico (10kA)
Zona Servicios	Torre de Vigilancia S	11							
Fuerza		4,4	8	63	72	10	0,3	0,17	interruptor magnetitérmico (10kA)
Alumbrado		6,6	11	63	72	10	0,3	0,17	interruptor magnetitérmico (10kA)
Grupo electrog		3,08	5	63	72	10	0,3	0,17	interruptor magnetitérmico (10kA)
MR2esteM	Módulo 1	30							
Fuerza		6	10	25	56	10	1,3	0,66	interruptor magnetit�rmico (10kA)

Alumbrado		24	41	63	97	10	3,2	1,59	interruptor magnetit�rmico (10kA)
Grupo electrog		8,4	15	25	56	10	1,3	0,65	interruptor magnetit�rmico (10kA)
MR2esteM	M�dulo 2	30							
Fuerza		6	10	25	56	10	2,0	0,98	interruptor magnetit�rmico (10kA)
Alumbrado		24	41	63	97	10	4,6	2,30	interruptor magnetit�rmico (10kA)
Grupo electrog		8,4	15	25	56	10	1,9	0,96	interruptor magnetit�rmico (10kA)
MR2esteM	M�dulo 3	30							
Fuerza		6	10	125	254	50	30,1	15,03	interruptor magnetit�rmico (50kA)
Alumbrado		24	41	125	254	50	30,1	15,03	interruptor magnetit�rmico (50kA)
Grupo electrog		8,4	15	63	97	25	19,3	9,65	interruptor magnetit�rmico (25kA)
MR2esteM	M�dulo 4	30							
Fuerza		6	10	25	56	10	2,0	0,98	interruptor magnetit�rmico (10kA)
Alumbrado		24	41	63	97	10	4,6	2,30	interruptor magnetitérmico (10kA)
Grupo electrog		8,4	15	25	56	10	1,9	0,96	interruptor magnetitérmico (10kA)
MR2esteM	Módulo 5	30							

Fuerza		6	10	25	56	10	1,3	0,66	interruptor magnetitérmico (10kA)
Alumbrado		24	41	63	97	10	3,2	1,59	interruptor magnetitérmico (10kA)
Grupo electrog		8,4	15	25	56	10	1,3	0,65	interruptor magnetitérmico (10kA)
MR1surM	Módulo 1	30							
Fuerza		6	10	125	171	25	5,3	2,64	interruptor magnetit�rmico (25kA)
Alumbrado		24	41	125	322	25	7,9	3,94	interruptor magnetit�rmico (25kA)
Grupo electrog		8,4	15	125	131	25	2,1	1,04	interruptor magnetit�rmico (25kA)
MR1surM	M�dulo 2	30							
Fuerza		6	10	125	171	25	6,4	3,21	interruptor magnetit�rmico (25kA)
Alumbrado		24	41	125	322	25	8,5	4,27	interruptor magnetit�rmico (25kA)
Grupo electrog		8,4	15	63	97	10	2,0	1,01	interruptor magnetit�rmico (10kA)
MR1surM	M�dulo 3	30							
Fuerza		6	10	125	131	25	9,3	4,67	interruptor magnetit�rmico (25kA)
Alumbrado		24	41	125	131	25	9,3	4,67	interruptor magnetit�rmico (25kA)
Grupo electrog		8,4	15	25	31	10	2,3	1,17	interruptor magnetit�rmico (10kA)

MR1surM	Módulo 4	30							
Fuerza		6	10	125	171	25	6,4	3,21	interruptor magnetitérico (25kA)
Alumbrado		24	41	125	254	25	8,0	4,00	interruptor magnetitérico (25kA)
Grupo electrog		8,4	15	63	97	10	2,0	1,01	interruptor magnetitérico (10kA)
MR1surM	Módulo 5	30							
Fuerza		6	10	125	171	25	5,3	2,64	interruptor magnetitérico (25kA)
Alumbrado		24	41	125	254	25	7,2	3,58	interruptor magnetitérico (25kA)
Grupo electrog		8,4	15	63	97	10	1,7	0,85	interruptor magnetitérico (10kA)
alaEsteM	Hospital	12							
Fuerza		4,8	8	125	160	25	1,0	0,51	interruptor magnetitérico (25kA)
Alumbrado		7,2	12	125	160	25	1,0	0,51	interruptor magnetitérico (25kA)
Grupo electrog		3,36	6	63	96	10	0,4	0,21	interruptor magnetitérico (10kA)
alaEsteM	Comunicaciones	7,5							
Fuerza		3	5	63	72	10	0,4	0,19	interruptor magnetitérico (10kA)
Alumbrado		4,5	8	63	72	10	0,4	0,19	interruptor magnetitérico (10kA)

Grupo electrog		2,1	4	63	72	10	0,3	0,17	interruptor magnetitérmico (10kA)
alaEsteM	Taller	5							
Fuerza		2	3	63	72	10	0,5	0,27	interruptor magnetitérmico (10kA)
Alumbrado		3	5	63	72	10	0,5	0,27	interruptor magnetitérmico (10kA)
Grupo electrog		1,4	2	63	72	10	0,5	0,24	interruptor magnetitérmico (10kA)
alaEsteM	Servicios Generales	5							
Fuerza		2	3	125	160	25	2,5	1,26	interruptor magnetitérmico (25kA)
Alumbrado		3	5	125	160	25	2,5	1,26	interruptor magnetitérmico (25kA)
Grupo electrog		1,4	2	125	160	25	1,7	0,83	interruptor magnetitérmico (25kA)
alaEsteM	Centro de Control	6							
Fuerza		2,4	4	13	40	10	1,3	0,66	interruptor magnetitérmico (10kA)
Alumbrado		3,6	6	13	40	10	1,3	0,66	interruptor magnetitérmico (10kA)
Grupo electrog		1,68	3	13	40	10	0,6	0,31	interruptor magnetitérmico (10kA)
MR2norteH	Módulo 1	30							
Fuerza		6	10	125	211	25	6,2	3,12	interruptor magnetit�rmico (25kA)

Alumbrado		24	41	125	322	25	7,9	3,94	interruptor magnetit�rmico (25kA)
Grupo electrog		8,4	15	125	211	25	3,2	1,62	interruptor magnetit�rmico (25kA)
MR2norteH	M�dulo 2	30							
Fuerza		6	10	125	171	25	6,4	3,21	interruptor magnetit�rmico (25kA)
Alumbrado		24	41	125	211	25	7,3	3,63	interruptor magnetit�rmico (25kA)
Grupo electrog		8,4	15	125	131	25	2,9	1,44	interruptor magnetit�rmico (25kA)
MR2norteH	M�dulo 3	30							
Fuerza		6	10	63	97	10	9,0	4,48	interruptor magnetit�rmico (10kA)
Alumbrado		24	41	63	97	10	9,0	4,48	interruptor magnetit�rmico (10kA)
Grupo electrog		8,4	15	25	97	10	4,1	2,03	interruptor magnetit�rmico (10kA)
MR2norteH	M�dulo 4	30							
Fuerza		6	10	125	171	25	6,4	3,21	interruptor magnetit�rmico (25kA)
Alumbrado		24	41	125	211	25	7,3	3,63	interruptor magnetit�rmico (25kA)
Grupo electrog		8,4	15	125	131	25	2,9	1,44	interruptor magnetit�rmico (25kA)
MR2norteH	M�dulo 5	30							

Fuerza		6	10	125	171	25	5,3	2,64	interruptor magnetit�rmico (25kA)
Alumbrado		24	41	125	254	25	7,2	3,58	interruptor magnetit�rmico (25kA)
Grupo electrog		8,4	15	125	131	25	2,5	1,23	interruptor magnetit�rmico (25kA)
MR1oesteH	M�dulo 1	30							
Fuerza		6	10	125	171	25	4,6	2,31	interruptor magnetit�rmico (25kA)
Alumbrado		24	41	125	322	25	5,7	2,85	interruptor magnetit�rmico (25kA)
Grupo electrog		8,4	15	125	171	25	2,5	1,23	interruptor magnetit�rmico (25kA)
MR1oesteH	M�dulo 2	30							
Fuerza		6	10	125	131	25	4,6	2,28	interruptor magnetit�rmico (25kA)
Alumbrado		24	41	125	254	25	5,7	2,86	interruptor magnetit�rmico (25kA)
Grupo electrog		8,4	15	125	131	25	2,4	1,22	interruptor magnetit�rmico (25kA)
MR1oesteH	M�dulo 3	30							
Fuerza		6	10	63	73	10	6,0	3,00	interruptor magnetit�rmico (10kA)
Alumbrado		24	41	63	73	10	6,0	3,00	interruptor magnetit�rmico (10kA)
Grupo electrog		8,4	15	25	73	10	3,2	1,61	interruptor magnetit�rmico (10kA)

MR1oesteH	Módulo 4	30							
Fuerza		6	10	125	171	25	5,2	2,60	interruptor magnetitérico (25kA)
Alumbrado		24	41	125	322	25	5,9	2,93	interruptor magnetitérico (25kA)
Grupo electrog		8,4	15	125	171	25	2,7	1,35	interruptor magnetitérico (25kA)
MR1oesteH	Módulo 5	30							
Fuerza		6	10	125	171	25	4,6	2,31	interruptor magnetitérico (25kA)
Alumbrado		24	41	125	322	25	5,7	2,85	interruptor magnetitérico (25kA)
Grupo electrog		8,4	15	125	171	25	2,5	1,23	interruptor magnetitérico (25kA)
alaOesteH	Hospital	12							
Fuerza		4,8	8	63	190	10	0,5	0,57	interruptor magnetitérico (10kA)
Alumbrado		7,2	12	63	190	10	0,5	0,57	interruptor magnetitérico (10kA)
Grupo electrog		3,36	6	63	125	10	0,4	0,24	interruptor magnetitérico (10kA)
alaOesteH	Comunicaciones	7,5							
Fuerza		3	5	63	160	10	1,6	0,55	interruptor magnetitérico (10kA)
Alumbrado		4,5	8	63	160	10	1,6	0,55	interruptor magnetitérico (10kA)

Grupo electrog		2,1	4	63	96	10	0,7	0,21	interruptor magnetitérmico (10kA)
alaOesteH	Taller	5							
Fuerza		2	3	63	72	10	2,9	0,26	interruptor magnetitérmico (10kA)
Alumbrado		3	5	63	72	10	2,9	0,26	interruptor magnetitérmico (10kA)
Grupo electrog		1,4	2	63	72	10	1,1	0,20	interruptor magnetitérmico (10kA)
alaOesteH	Servicios Generales	5							
Fuerza		2	3	63	125	10	1,0	0,80	interruptor magnetitérmico (10kA)
Alumbrado		3	5	63	125	10	1,0	0,80	interruptor magnetitérmico (10kA)
Grupo electrog		1,4	2	63	96	10	1,0	0,37	interruptor magnetitérmico (10kA)
alaOesteH	Centro de control	6							
Fuerza		2,4	4	63	73	10	2,9	1,46	interruptor magnetitérmico (10kA)
Alumbrado		3,6	6	63	73	10	2,9	1,46	interruptor magnetitérmico (10kA)
Grupo electrog		1,68	3	50	54	10	1,1	0,57	interruptor magnetitérmico (10kA)
MR2esteM	Centro	4							
Fuerza		1	2	63	115	10	1,0	0,52	interruptor magnetitérmico (10kA)

Alumbrado		3	5	63	115	10	1,0	0,52	interruptor magnetitérmico (10kA)
Grupo electrog		4	7	63	115	10	1,0	0,52	interruptor magnetitérmico (10kA)

Tabla 17: Selección de interruptores automáticos según su In y PdC

5. SELECCIÓN DE INTERRUPTORES DIFERENCIALES

5.1. Teoría básica

Los dispositivos diferenciales están asociados con la seguridad de protección de las personas ante los contactos directos o indirectos en instalaciones de Baja Tensión.

Para una mejor optimización en la elección y utilización de ellos es necesario un profundo estudio en las instalaciones eléctricas y los diversos tipos de receptores, incluyendo principalmente los Esquemas de Conexión a Tierra (explicados brevemente a continuación).

Se tomarán las siguientes normativas y reglamentos para la descripción de este capítulo:

REBT	Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y sus Instrucciones Técnicas complementarias, así como la Guía Técnica de Aplicación del REBT
ITC-BT-08 del REBT	SISTEMAS DE CONEXIÓN DEL NEUTRO Y DE LAS MASAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
ITC-BT-24 del REBT	INSTALACIONES INTERIORES O RECEPTORAS. Protección contra los contactos directos e indirectos.
UNE 20460	Instalaciones eléctricas en edificios (coincide con IEC 60364)

Tabla 18: Reglamento y normas aplicadas para interruptores diferenciales

5.1.1. Sistema de conexión del neutro y de las masas en redes de distribución

Para determinar las medidas de protección contra defectos (contactos indirectos) y sobrecorrientes, así como para las especificaciones de la aparatada encargada de tales funciones, es preciso tener en cuenta el esquema de distribución.

Los esquemas de distribución se establecen según las conexiones a tierra de la red de distribución o de la alimentación; al igual que según las masas de la instalación receptora.

Existen tres esquemas de conexión:

- **Esquema TT:** un punto de alimentación, el neutro o el compensador, está conectado a tierra y las masas de la instalación receptora también conectadas a tierra pero a una toma diferente, separada a la de la alimentación.
- **Esquema IT:** no tiene ningún punto de alimentación conectado directamente a tierra, en cambio, las masas de la instalación receptora sí están conectadas directamente a tierra.
- **Esquema TN:** un punto de alimentación y las masas de la instalación receptora conectados directamente a tierra mediante un mismo conductor. Puede ser de tipo TN-C (con neutro y conductor de protección unifilar) y TN-S (con neutro y conductor de protección separados).

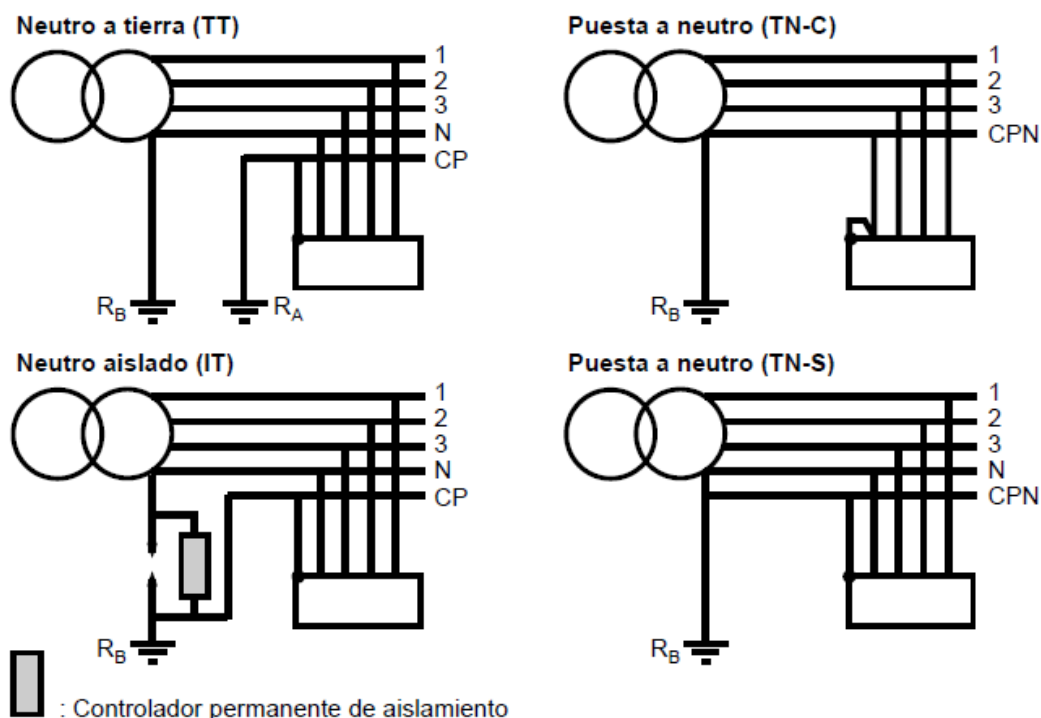


Figura 44: Esquemas de conexión a tierra: TT, TN e TI; definidos por la CEI 60364-3

La elección de uno de estos tipos de conexión se debe hacer en función de las características técnicas y económicas de la instalación.

El esquema elegido en este Trabajo Fin de Grado es el esquema de conexión TT ya que, la ITC-BT-08 Sistemas de conexión del neutro y de las masas en redes de distribución de energía eléctrica, indica que: *“Las redes de distribución pública de baja tensión tienen un punto puesto directamente a tierra por prescripción reglamentaria. Este punto es el punto neutro de la red. El esquema de distribución para instalaciones receptoras alimentadas directamente de una red de distribución pública de baja tensión es el esquema TT”*.

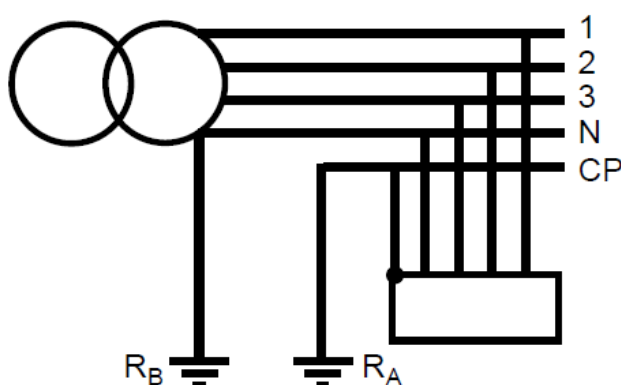


Figura 45: Esquema de conexión TT

Este tipo de conexión tiene el neutro o compensador conectado directamente a tierra y las masas y partes metálicas de la misma instalación están unidas a otra tierra diferente, (individuales).

Es muy frecuente que los valores de las intensidades de defecto fase-masa/fase-tierra en estos tipos de conexión de red sean inferiores a los de cortocircuito trifásico, pero pueden ser suficientes para producir tensiones peligrosas en las carcasas de los equipos o en el terreno (tensión límite de seguridad, explicada posteriormente).

5.1.2. Definición del Dispositivos Diferenciales Residuales

Uno de los peligros más usuales para las personas y las instalaciones son los contactos directos e indirectos que, o bien se producen por una disminución del aislamiento, o bien por el contacto directo con un elemento en tensión; produciendo así, la circulación de una corriente a tierra que atraviesa el elemento que conecta la parte en tensión con tierra.

La función principal de los Dispositivos Diferenciales Residuales (DDR) es proteger contra las corrientes de defecto de fuga a tierra, también denominadas corrientes diferenciales residuales. [5]

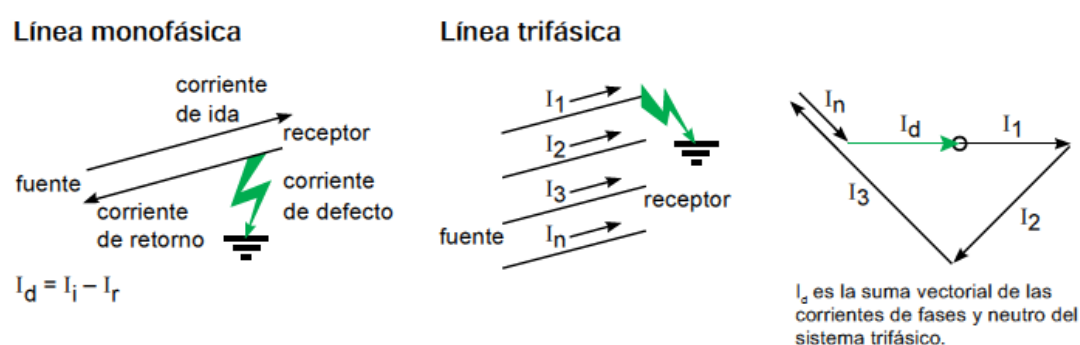


Figura 46: Un defecto en la línea que se traduce en una corriente diferencial. Izquierda línea monofásica, centro línea trifásica, derecha diagrama fasorial en ese caso.

Un defecto a tierra conlleva una diferencia entre la corriente que circula de la fuente a la carga respecto de la corriente que retorna de la carga.

Existe dos tipos de contactos: directos e indirectos.

Contacto directo: este tipo de contacto se produce cuando una persona entra en contacto directamente con un elemento activo, que obviamente está sometido a la tensión de servicio de la instalación, y a la vez se está en contacto con otro punto a distinto potencial, generalmente tierra u otra fase de la instalación. Por elemento activo se entienden conductores, fases y neutro sin aislamiento o embarrados de cobre desnudo de los cuadros de distribución

Contacto indirecto: el REBT, en su instrucción técnica ITC-BT-01 (Terminología) define como contacto indirecto: "el contacto de personas o animales domésticos con partes que se han puesto bajo tensión como resultado de un fallo de aislamiento". Por lo tanto, para que exista un contacto indirecto debe producirse un deterioro del aislamiento y su puesta en contacto con una parte metálica o conductora (bastidor, carcasa o elemento metálico conductor, que en condiciones de uso normal, no está sometido a tensión). De la misma forma, el sujeto debe estar en contacto con otro punto a distinto potencial generalmente tierra u otra fase de la instalación.

Estos contactos son peligrosos cuando superan la TENSIÓN LÍMITE DE SEGURIDAD (U_L), tensión por debajo de la cual no hay riesgo para las personas, según la norma UNE 20460 es, en alterna, de:

- 50 V para los locales secos.
- 25 V para los locales húmedos.
- 12 V para los locales mojados.

Para que no exista peligro la tensión de contacto (U_C) debe ser inferior a (U_L). En la siguiente figura se puede apreciar cómo se genera esa tensión U_C .

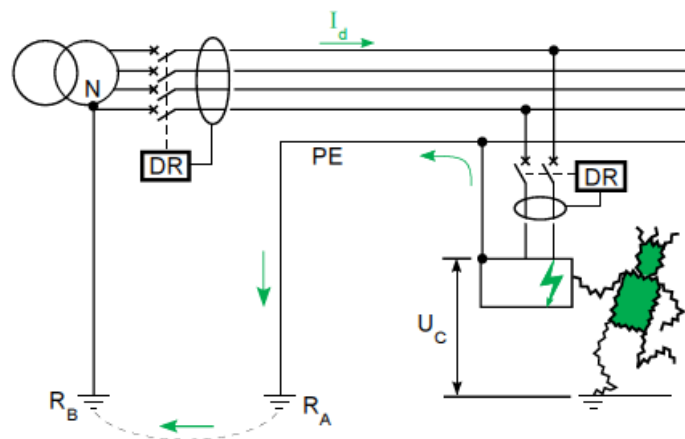


Figura 47: Principio de generación de la tensión de contacto U_C

Cuando el neutro de la instalación está puesto a tierra (esquema TT nuestro caso), con:

R_A = resistencia de puesta a tierra de las masas de la instalación

R_B = resistencia de puesta a tierra del neutro

Habrà que elegir un umbral de funcionamiento ($I\Delta n$) del diferencial de forma que:

$$U_C = R_A \cdot I_d \leq U_L$$

En este caso:

$$I_d = I\Delta n$$

Por lo que:

$$I\Delta n \leq \frac{U_L}{R_A}$$

El tiempo de funcionamiento de la protección se elige mediante la Tabla 19 en función de si el emplazamiento es seco o húmedo, si se trata de corriente alterna o continua y de la tensión de contacto U_C .

$$U_C = \frac{R_A}{R_A + R_B} \cdot U$$

Donde U es tensión fase-neutro

tensión de contacto U_C (V)	Tiempo de corte máximo del dispositivo de protección (s)	
	corr. alterna	corr. continua
■ locales o emplazamientos secos: $U_L \leq 50$ V		
< 50	5	5
50	5	5
75	0,60	5
90	0,45	5
120	0,34	5
150	0,27	1
220	0,17	0,40
280	0,12	0,30
350	0,08	0,20
500	0,04	0,10
■ locales o emplazamientos húmedos: $U_L \leq 25$ V		
25	5	5
50	0,48	5
75	0,30	2
90	0,25	0,80
110	0,18	0,50
150	0,10	0,25
220	0,05	0,06
280	0,02	0,02

Tabla 19: Tiempo máximo que es posible mantener la tensión de contacto según la norma UNE 20460

Los datos de la Tabla 19 pueden representarse mediante unas curvas. Estas curvas relacionan la tensión eficaz de contacto U_C con el tiempo máximo de corte de la protección en emplazamientos secos, húmedos o mojados (ver figura). Las asíntotas verticales de dichas curvas son las tensiones límite de seguridad U_L : 50 V, 25 V y 12 V, respectivamente.

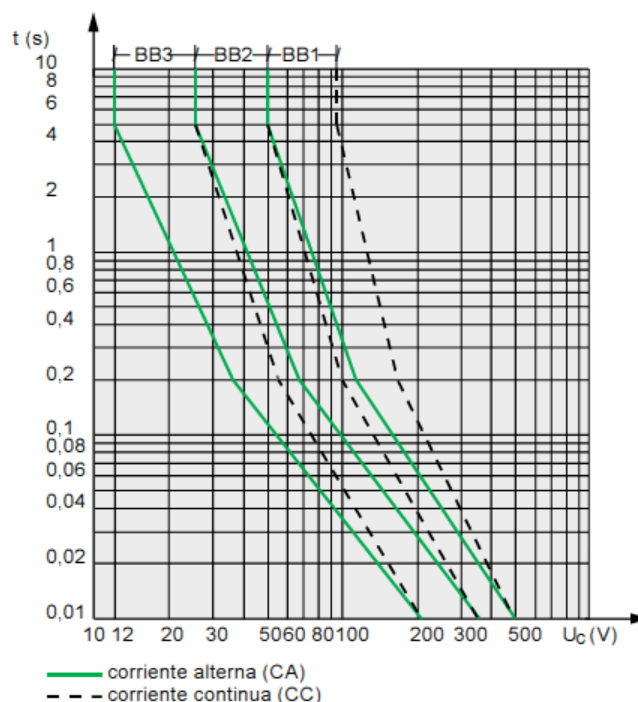


Figura 48: Curvas de tiempo de contacto máximo en función de la tensión de contacto, según la norma UNE 20460

Los tiempos de apertura de los dispositivos diferenciales están determinados por estas curvas de seguridad.

En la parte final de la instalación, es recomendable utilizar un diferencial que pueda detectar una corriente de defecto que atravesase una persona. Su sensibilidad de funcionamiento, según la anterior tabla, debe ser inferior o igual a 30 mA y, además, su funcionamiento debe ser instantáneo puesto que el valor de la corriente de defecto podría sobrepasar 1 A. Esto implica, según los efectos fisiopatológicos, puede causar en los seres humanos paro cardíaco, paro respiratorio y graves quemaduras en el cuerpo. Véase la siguiente tabla qué efectos causan las corrientes débiles en los seres humanos.

Efectos (para $t < 10$ s)	Intensidad de corriente (mA)		
	continua	50/60 Hz	10 kHz
ligero cosquilleo, límite de percepción	3,5	0,5	8
choque violento pero sin pérdida del control muscular	41	6	37
nivel de agarrotamiento muscular (tetanización)	51	10	51
fuerte dificultad respiratoria	60	15	61
nivel de parálisis respiratoria		30	
nivel de fibrilación cardíaca irreversible		75	
paro cardíaco		1000	

Tabla 20: Efecto de las corrientes eléctricas débiles en los seres humanos

5.1.3. Reglas generales

Los dispositivos diferenciales residuales (DDR) se utilizan a menudo en instalaciones eléctricas domésticas, terciarias e industriales. En el Reglamento de Baja Tensión (MIE-BT-008) y en la Norma UNE 20460 se especifican las reglas de instalación de los diferenciales. [5]

Independientemente del tipo de Esquema de Conexión a Tierra de en una instalación, las normas indican que:

- Cada masa debe estar conectada a una toma de tierra a través del conductor de protección.
- Las masas a las que se pueda acceder simultáneamente deben estar conectadas a una misma toma de tierra.
- La desconexión debe afectar a toda la parte de la instalación donde se pueda generar una tensión de contacto peligrosa.
- El tiempo de corte de este dispositivo debe ser inferior al tiempo máximo definido.

Aún observando las reglas anteriormente expuestas, podría producirse un contacto, en estos casos, la existencia de un diferencial situado aguas arriba detectaría la intensidad derivada y actuaría si esta supera el límite prefijado.

La normativa reconoce además, como medida de protección, el empleo de los diferenciales de alta sensibilidad (30mA), o muy alta sensibilidad (menor a 30mA), cuando el riesgo de contacto directo es debido al entorno, a la instalación o a las personas (UNE 20460). Este riesgo existe además cuando el conductor de protección puede cortarse o se carece de él (por ejemplo en aparatos eléctricos portátil). En este caso el empleo de los diferenciales de alta sensibilidad es obligatorio. Así la UNE 20460, precisa que los diferenciales de sensibilidad menor o igual a 30 mA deben proteger los circuitos que alimentan las tomas de corriente cuando:

- Están situadas en locales mojados o en instalaciones provisionales.
- Son de calibre menor o igual a 32 A para las demás instalaciones.

La norma UNE 20572 indica que la resistencia del cuerpo humano es igual o superior a $1000\ \Omega$ para el 95% de las personas, y si la tensión de contacto es de 230 V, en este caso la corriente que atravesará su cuerpo es de 0,23 A.

5.1.4. Funcionamiento de los interruptores diferenciales

Los interruptores diferenciales residuales están formados por varios elementos, los cuales pueden presentarse por separado para vigilar un punto concreto de la instalación, pueden estar juntos en un bloque compacto o pueden estar duplicados para vigilar a la vez dos puntos de la instalación.

Los elementos de los que constan son:

- El captador o captadores:

Mide las intensidades que circulan y es capaz de detectar cuando se produce un desequilibrio debido a una fuga a tierra.

El captador más utilizado es el transformador toroidal, que consiste en un anillo de material magnético, que envuelve la totalidad de los conductores activos. Cada corriente crea un campo magnético. El campo magnético total es el creado por la suma vectorial de las corrientes que circulan por las fases y el neutro. En ausencia de defecto esta suma es nula. En caso de un defecto a tierra, si el valor de la intensidad diferencial excede la corriente nominal de disparo residual, el circuito en la parte del secundario del toroide envía una señal de mando a una bobina de disparo y provoca el disparo del interruptor.

Este tipo de captador permite detectar las corrientes diferenciales desde algunos miliamperios.

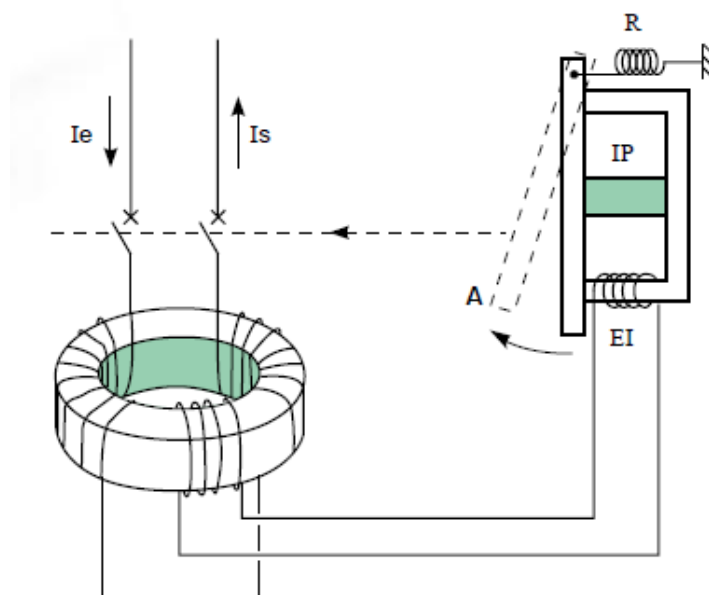


Figura 49: Corriente de defecto a través del toroidal

Los diferenciales utilizados en los puntos finales de la instalación (los más usados), llevan el toroidal incorporado. Así estos, pueden maximizar la energía captada y minimizar la sensibilidad a las inducciones parásitas.

- Bloque de tratamiento de la señal

La señal eléctrica proporcionada por el captador se trata para mejorar la respuesta del conjunto. Por lo que, la señal se adapta a la instalación para evitar disparos indeseados.

- El relé de medida y disparo

Compara la señal eléctrica suministrada por el captador con un valor de referencia, y da la orden de apertura al elemento de corte o dispositivo de maniobra que posee integrado, con un posible retardo intencionado.

Según su modo de alimentación se pueden clasificar:

- A propia corriente. Este tipo de relés se caracterizan en que se aprovecha la propia corriente de falta a tierra para suministrar la energía provocando el disparo. Este modo de alimentación hace que no dependa de energías externas y sea el más seguro. Esta categoría de diferenciales es la utilizada para las instalaciones domésticas y análogas (normas UNE EN 61008 y 61009).
- Con alimentación auxiliar. Este tipo de relés se caracterizan porque necesitan una fuente de energía externa para su funcionamiento (independiente de la corriente de defecto). Obviamente, si se interrumpe la alimentación auxiliar estos aparatos, generalmente electrónicos, ya no están en servicio.

- Según su tecnología:

Dispositivos electromagnéticos. Estos dispositivos son del tipo “a propia corriente”. Requieren para su funcionamiento una pequeña potencia eléctrica, 100 mVA, la cual es suficiente para vencer la fuerza de enclavamiento y provocar la apertura de los contactos. En este apartado se encuentran los diferenciales que sólo poseen un umbral de funcionamiento.

Dispositivos electrónicos. Necesitan una fuente auxiliar de alimentación. La electrónica permite tener unas lecturas más precisas, posibilidad de temporización de disparo, y elección de varios umbrales, lo que redundará en una óptima selectividad del disparo.

- El dispositivo de maniobra de apertura del aparato.

Situado aguas arriba del circuito eléctrico controlado por el diferencial, se denomina disparador o accionador. Es el elemento que realiza finalmente la desconexión de la instalación. Puede tratarse de un interruptor o un interruptor automático.

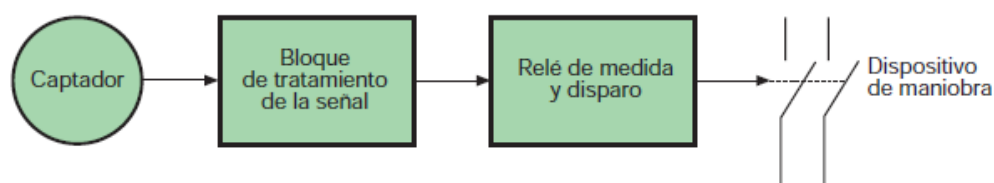


Figura 50: Funcionamiento de un diferencial

5.1.5. Protección contra corrientes diferenciales en el régimen de neutro TT

La instalación de este Trabajo Fin de Grado está diseñada con un régimen de neutro TT, dado que este esquema es el más utilizado en la actualidad. Se estima que más del 90% de las instalaciones, sobre todo domésticas y terciarias, responden a este tipo de esquema. [5]

Basándose en la figura de la ITC-BT-08 se ha señalado como R_A y R_B las resistencias de las tomas de tierra.

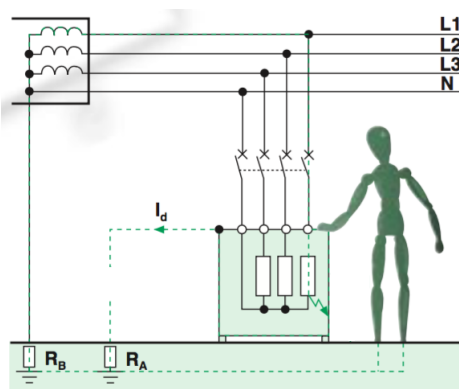


Figura 51: Esquema de distribución TT

En el caso de un contacto fase-masa, se origina una corriente de fuga a tierra I_d limitada por las resistencias de las tomas de tierra (R_A y R_B) y la resistencia del defecto de aislamiento (R_d):

$$I_d = \frac{U}{R_A + R_B + R_d}$$

Anteriormente se ha representado la tabla y curvas de tiempos máximos en función de las tensiones de contacto U_C .

En este régimen TT la tensión a la que queda la carcasa respecto de tierra (tensión de contacto) es igual a: $U_C = R_A \cdot I_d$

Y despreciando el valor de R_d queda: $U_C = \frac{R_A}{R_A + R_B} \cdot U$

Donde U es la tensión fase-neutro. En una instalación de conexión TT la intensidad de defecto es del orden de algunos amperios y la carcasa del receptor puede perfectamente alcanzar una U_C peligrosa. La desconexión, por tanto, es obligatoria.

$$U_C = R_A \cdot I_d \leq U_L$$

Donde U_L es la tensión de contacto máxima admisible por el cuerpo humano, tensión que no deben rebasarse (12 V, 25 V o 50 V).

Estas tensiones, consideradas como no peligrosas, provocan la circulación, por el cuerpo humano, de una corriente inferior a 25-30 mA (límite a partir del cual existe la posibilidad de que se produzca parálisis respiratoria).

5.2. Selectividad de los interruptores diferenciales

El objetivo general de la selectividad es que dispare única y exclusivamente la protección diferencial que se encuentra situada inmediatamente aguas arriba del defecto, pero que no lo hagan las que se encuentran todavía más aguas arriba de esta protección encargada de despejar la falta, ni tampoco lo hagan protecciones diferenciales de circuitos situados en paralelo al que presenta el defecto.

Con esto se evitan desconexiones innecesarias o imprevistas de partes de la instalación sanas y que deben continuar en explotación.

La selectividad de interruptores diferenciales en serie es aquella que define el funcionamiento de dos protecciones que se encuentran situadas una tras otra en un circuito. Este tipo de selectividad puede ser de dos tipos, amperimétrica y/o cronométrica. [5]

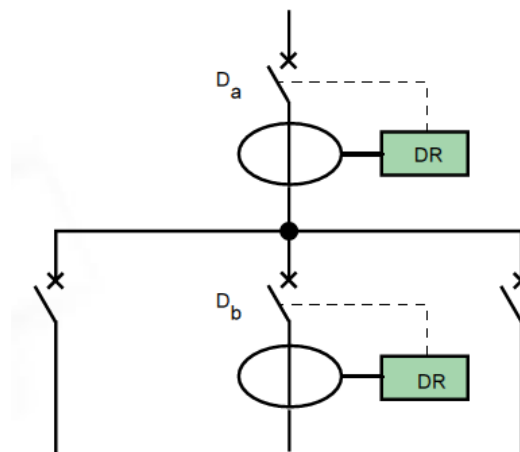


Figura 52: Interruptores Diferenciales en Serie (selectividad vertical)

- Selectividad Amperimétrica:

Según las normas, un diferencial debe actuar entre I_{Dn} y $I_{Dn}/2$; en la práctica, se requiere una relación de: I_{Dn} (aguas arriba) $\geq 2 I_{Dn}$ (aguas abajo).

- Selectividad Cronométrica:

Todo elemento necesita su tiempo de actuación, ya que los elementos de corte, concretamente los contactos principales, al ser piezas mecánicas, necesitan un tiempo, por mínimo que este sea, para poder separarse y abrir el circuito, por lo que, todo disparo conlleva un cierto tiempo de actuación. Por tanto, se requiere una temporización o retardo voluntario en el dispositivo aguas arriba.

La doble condición de no disparo de D_a para un defecto aguas abajo de D_b es, por tanto (Figura 52):

$$I_{Dn}(D_a) > 2 I_{Dn}(D_b)$$

$$t_r(D_a) > t_r(D_b) + t_c(D_b)$$

$$t_r(D_a) > t_f(D_b)$$

$t_r(D_a)$ = retardo del disparo, tiempo de no respuesta del diferencial D_a .

$t_c(D_a)$ = tiempo entre el instante de corte del diferencial D_a y aquel en el que el relé de medida da la orden de corte.

$t_f(D_a)$ = tiempo de funcionamiento del diferencial D_a , desde la detección del defecto a la interrupción total de la corriente de defecto.

$I_{Dn}(D_a)$ = intensidad nominal de disparo del diferencial D_a

Los relés electrónicos retardables pueden presentar un fenómeno de memorización del defecto por su circuito de umbral. Se debe, entonces, considerar un “tiempo de memoria” t_m (Figura 53) para que no disparen después de la apertura del aparato aguas abajo:

$$t_r(D_a) > t_r(D_b) + t_m$$

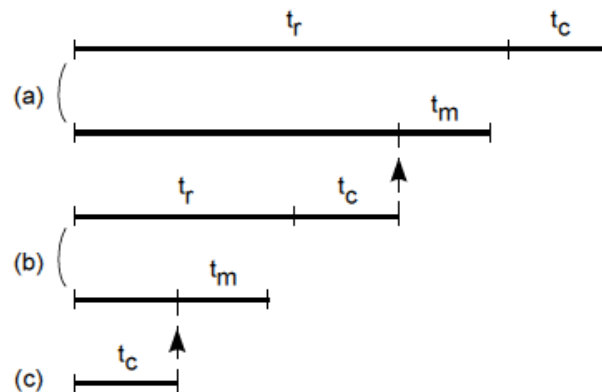


Figura 53: Temporización de un diferencial aguas arriba que tiene en cuenta el tiempo de corte y el tiempo de memoria del diferencial aguas abajo

La selectividad amperimétrica y cronométrica están relacionadas por las siguientes curvas de disparo:

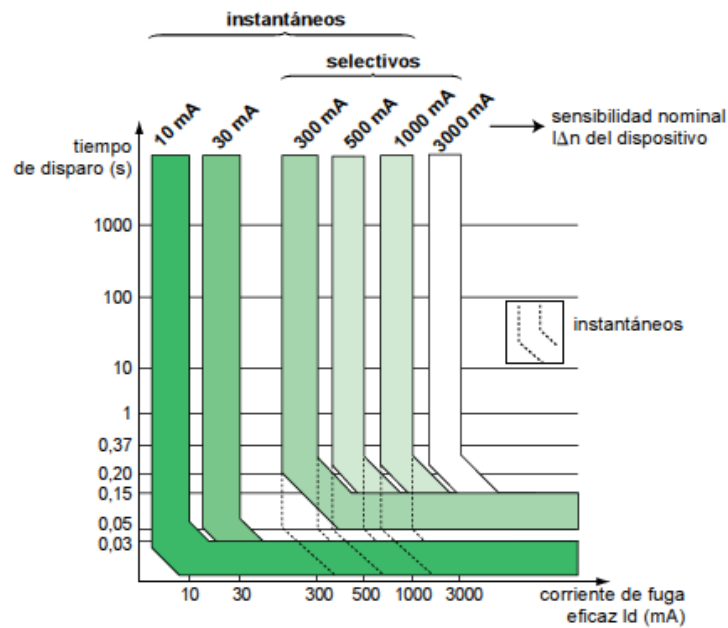


Figura 54: Curva de disparo de los diferenciales

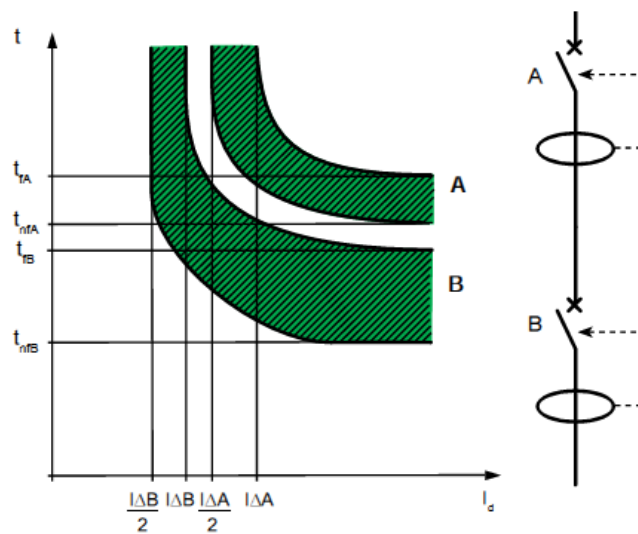


Figura 55: Más en detalle, curvas de actuación de diferenciales

Existen dos tipos de selectividad en serie: total y parcial.

- Selectividad total: el dispositivo aguas arriba de la instalación tiene menos sensibilidad y mayor retardo que el de aguas abajo.
- Selectividad parcial: el dispositivo aguas arriba tiene menor sensibilidad y mayor tiempo de retardo que el que está colocado aguas abajo pero hasta un cierto umbral, a partir del cual cualquiera de los dos dispositivos podrá actuar.

5.3. Selección de los interruptores diferenciales

Para una adecuada selectividad de los interruptores diferenciales en este Trabajo Fin de Grado, se ha dividido la instalación en cuatro niveles y estos serán los interruptores diferenciales elegidos (para una mejor comprensión, véanse los planos adjuntos de las instalaciones):

Nivel A: CGBT. El Cuadro General de Baja Tensión está protegido con un interruptor automático de bastidor abierto. Como se indicó en el apartado de selección de interruptores automáticos, este tipo de interruptores llevan ya incorporados de serie el diferencial, que se programa teniendo en cuenta los interruptores que le preceden.

Nivel B: cuadros de distribución (cuadro Zona de Hombres, cuadro Zona de Mujeres y cuadro Zona de Servicios). En estos niveles se pondrán unos diferenciales con una sensibilidad de 300mA.

Nivel C: cuadros secundarios (MR1oesteH, MR2norteH, alaOesteH, MR1surM, MR2esteM, alaEsteM). Estos en cambios, llevarán una sensibilidad de 100 mA.

Nivel D: subcuadros (el resto de los cuadros terciarios). Como se dijo anteriormente, en los receptores finales de la instalación, es recomendable utilizar un diferencial que pueda detectar una corriente de defecto que atraviere una persona; por ellos se han puesto unos diferenciales con una sensibilidad de 30 mA.

5.3.1 Coordinación entre los interruptores automáticos e interruptores diferenciales

Para un buen funcionamiento de la instalación hay que coordinar los interruptores automáticos con los diferenciales seleccionando adecuadamente la corriente asignada de ambos.

En el diseño de la instalación se han colocado los interruptores diferenciales aguas abajo de los interruptores automáticos. Como están en la misma línea, las corrientes asignadas de los dos interruptores tienen que quedar de la siguiente forma: $I_{Dn} \geq I_{n1}$

Pero, como es recomendable que los interruptores diferenciales estén sobrecalibrados respecto a los interruptores automáticos, todos los diferenciales de la instalación se han elegido de la siguiente manera: $I_{Dn} \geq 1,4 I_{n1}$. Véase un ejemplo de una rama en serie de los interruptores:

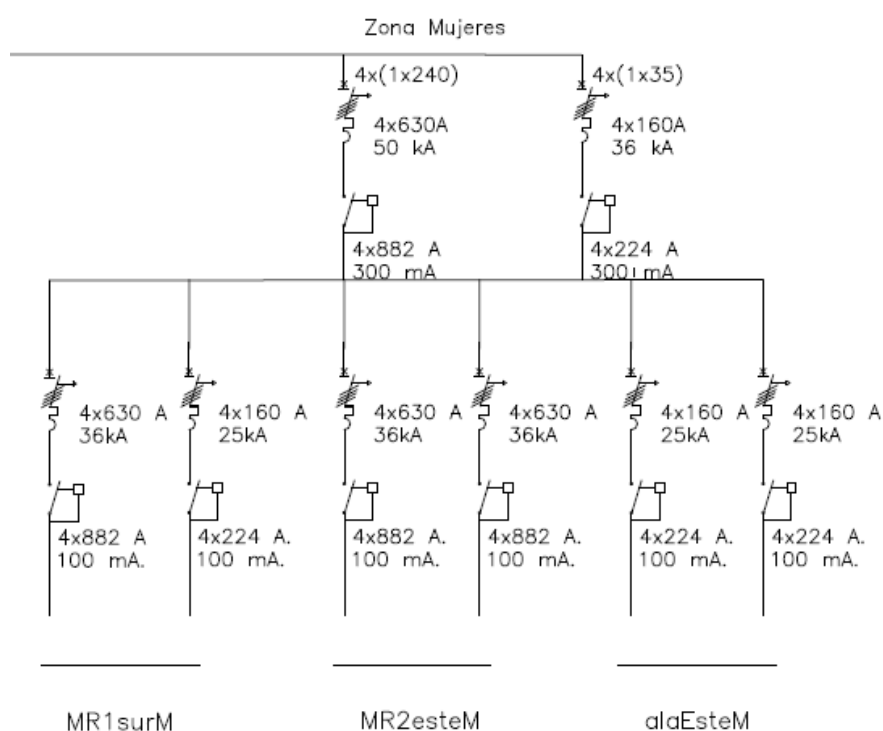


Figura 56: Parte del plano "Plano General", coordinación entre los interruptores automáticos e interruptores diferenciales

6. RESUMEN Y CONCLUSIONES

6.1. Resumen del trabajo realizado

El objetivo final de este Trabajo Fin de Grado es el análisis y diseño para la ejecución de una instalación de baja tensión. El análisis fue realizado de forma teórica y práctica, de forma que, todas las decisiones tomadas en la realización del centro penitenciario estén debidamente justificadas con una base teórica. Esto es algo que en ocasiones no se hace en la práctica profesional, ya que para reducir el tiempo de ejecución del proyecto, muchos elementos se toman de proyectos precedentes o utilizando normativa interna de la empresa. Para lograr este objetivo se han utilizado los conocimientos adquiridos durante toda la etapa de formación en el Grado en Ingeniería Eléctrica y en especial en la asignatura Instalaciones Eléctricas.

Evidentemente, en la asignatura Instalaciones Eléctricas no se baja al detalle de muchos aspectos de la normativa. Ello obligó a tener que buscar entre la reglamentación del Ministerio de Industria y Energía instrucciones y normativas aplicables a la instalación que se iba a diseñar. Además, debido a la complejidad del trabajo en el diseño de instalaciones de Baja Tensión, centrándose en un Lugar de Pública Concurrencia, donde el suministro de alimentación es imprescindible, se adquirieron nuevos conocimiento y habilidades.

Ahora, tras la finalización del trabajo, en él podemos conocer los materiales y productos necesarios para la realización de la instalación eléctrica de Baja Tensión en el centro penitenciario. También el Libro Excel programado especialmente y como una tarea más del trabajo para la adecuada elección de los elementos, que variando los datos de entrada (condiciones de la instalación) puede ser utilizado perfectamente para posteriores trabajos de fin de grado semejantes.

Además, en el trabajo podemos apreciar la normalización que debe llevar la realización de cualquier instalación de Baja Tensión; la cual la podemos encontrar en cada apartado de la memoria explicada y justificada por la normativa correspondiente.

De esta forma, el análisis y el diseño del centro penitenciario realizado, garantiza el suministro continuo de energía cumpliendo todos los criterios y normativas aplicables:

- Intensidad máxima admisible por el conductor
- Caída de tensión máxima en el conductor
- Selección de la sección de cable
- Selección del cable normalizados
- Poder de corte de los interruptores frente a la intensidad de cortocircuito
- Protecciones frente a los contactos directos e indirectos que se pueden presentar en la instalación
- Selectividad entre las protecciones

Finalmente, los objetivos propuestos al comienzo del trabajo se han llevado al cabo adecuadamente, cumpliendo todos los requisitos de seguridad.

También se ha realizado un presupuesto para la ejecución de estos trabajos que figura en el capítulo 8 y se han elaborado planos para una mejor comprensión de las instalaciones que figura en el capítulo 9.

6.2. Aportaciones del Trabajo Fin de Grado

A diferencia de otros trabajos fin de grado similares, en este trabajo se ha justificado de forma ortodoxa cada una de las elecciones realizadas. Para que la justificación sea rigurosa se ha realizado una introducción teórica que muestra cómo se debe elegir cada uno de los componentes, y se han llevado al cabo los cálculos correspondientes.

Otra de las diferencias importantes es que en éste Trabajo Fin de Grado no se han utilizado programas informáticos comerciales sino que los cálculos se han realizado mediante un libro Excel programado ex profeso. Ello permite ser más consciente de la forma de calcular cada uno de los elementos de la instalación. Como contrapartida, la programación del libro Excel requiere una mayor destreza y unos conocimientos en electricidad mucho más sólidos de los que se precisarían utilizando una herramienta informática comercial que realiza los cálculos sin que el ingeniero sea consciente de muchos detalles importantes.

Habitualmente, un proyecto de Baja Tensión incluye otro tipo de documentos, como son el Pliego de Condiciones y Seguridad y Salud. En este Trabajo Fin de Grado no se han incluido estos documentos, pues la redacción de los mismos es muy dependiente de la empresa para la que se realiza el proyecto. Aunque la mayoría de los trabajos fin de grado sobre el tema incluyen este tipo de documentos, se ha considerado que su inclusión en este Trabajo Fin de Grado no aportaría un valor añadido al trabajo realizado, sino que sería una mera copia de otros pliegos de condiciones de trabajos fin de grado previos o de normativa interna de la empresa en la que el estudiante realizó su trabajo fin de grado.

6.3. Sugerencias para futuros trabajos

Cuando se proyectó la instalación se tomó como tensión secundaria del transformador en vacío 400 V, en lugar de 420 V como es habitual. Ello se tradujo en una mayor sección de los conductores para cumplir con el requisito de la caída de tensión, que en muchos de los conductores era el requisito determinante. Como este detalle se advirtió cuando el Trabajo Fin de Grado estaba a punto de finalizar (con muchas tablas ya incluidas en el texto y muchos ejemplos numéricos ya calculados), no se rectificaron los cálculos. Por tanto, como sugerencia para futuros trabajos se recomienda realizar los cálculos con un transformador cuya tensión nominal en el lado de Baja Tensión sea 420 V.

Por último, como sugerencia para trabajos futuros, se recomienda comparar los cálculos realizados con los que arrojaría una herramienta comercial de cálculo de instalaciones eléctricas como es CYPE.

7. BIBLIOGRAFÍA

Normas aplicadas:

UNE 21022 Conductores de cables aislados

UNE 21123 Cables de transporte de energía aislados con dieléctricos secos extruidos para tensiones nominales de 1 kV a 30 kV

UNE 21145 Guía sobre la aplicación de los límites de temperatura de cortocircuito de los cables eléctricos de tensión nominal no superior a 0,6 / 1 kV

UNE 20460 Instalaciones eléctricas en edificios (= IEC 60364)

ITC-BT-06 Rede aéreas

ITC-BT-07 Redes subterráneas

ITC-BT-14-19 Instalaciones de enlace. Línea general de alimentación

ITC-BT-15-19 Instalaciones de enlace. Derivaciones individuales

ITC-BT-19 Instalaciones interiores

UNE – EN 60898-1 Interruptores automáticos para instalaciones domésticas y análogas para la protección contra sobreintensidades (= IEC 60898-1)

UNE – EN 60947-2 Aparamenta de baja tensión. Parte 2: Interruptores automáticos

UNE – EN 60947-3 Aparamentade baja tensión. Parte 3: Interruptores, seccionadores, interruptores-seccionadores y combinados fusibles

ITC-BT-22 del REBT: INSTALACIONES INTERIORES O RECEPTORAS. Protección contra sobreintensidades

GUÍA-BT-22 del REBT: GUÍA TÉCNICA DE APLICACIÓN: PROTECCIONES. Protecciones: Protección contra sobreintensidades

GUÍA-BT-ANEXO 3: GUÍA TÉCNICA DE APLICACIÓN ANEXOS. CÁLCULO DE CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO

ITC-BT-08 del REBT: SISTEMAS DE CONEXIÓN DEL NEUTRO Y DE LAS MASAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

ITC-BT-24 del REBT: INSTALACIONES INTERIORES O RECEPTORAS. Protección contra los contactos directos e indirectos.

Libros, catálogos y apuntes:

[1] “Cuadernos de Divulgación Técnica. Aplicación de los Interruptores Automáticos de Baja Tensión”, AFME, 2005, de esta edición, AENOR, 2014

[2] Aula Global, asignatura: Instalaciones Eléctricas

[3] Cuaderno Técnico nº 201: “Selectividad con los interruptores automáticos de potencia BT”, Jean-Pierre NEREAU, Merlin Gerin, Schneider Electric

[4] Guía Técnica: 2. Coordinación de las protecciones BT, Schneider Electric; Capítulo: 1.3 “Funcionalidades y tecnologías de las protecciones”

[5] “Guía de protección diferencial Baja Tensión”, Merlin Gerin, Schneider Electric

8. PRESUPUESTO

SUBCAPÍTULO 01.01 CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

Nº Orden	Descripción	unidades	Longitud	Ancho	Altura	IMPORTE POR UNIDAD
01.01.01	ud Transformador tipo seco en resina epoxy de IMEFY Group o equivalentes, de 800 KVA, 20/0.4 kV, con cambiador de tomas en carga para un ajuste de tensión interrumpida, de cinco tomas, 400 V en la toma central y $\pm 2,5\%$ $\pm 5\%$. Tensión de cortocircuito, 6%. Devanados en cobre, clase F, Bornas enchufables, envolvente metálica con un grado de protección IP-23. Equipo de protección térmica mediante sondas PT-100, con indicación de temperatura y con contactos de alarma y disparo.	3				Total Partida 1.1..... 3
01.01.02	ud Grupo electrógeno fijo insonorizado sobre bancada de funcionamiento automático, trifásico de 230/400 V de tensión, de 180 kVA de potencia en emergencia, compuesto por alternador sin escobillas de 50 Hz de frecuencia; motor diésel de 1500 r.p.m., con regulador de tensión y de velocidad, refrigerado por agua, con silenciador y depósito de combustible; cuadro eléctrico de control; y cuadro de conmutación automática con interruptores de accionamiento automático calibrados a 250 A.	1				Total Partida 1.2..... 1

SUBCAPÍTULO 01.02 CUADROS ELÉCTRICOS

Nº Orden	Descripción	unidades	Longitud	Ancho	Altura	IMPORTE POR UNIDAD
01.02.01	ud CGBT. tablero residencial trifásico REIE, de Legrand o equivalente. Caja, tapa y puerta color blanco REAL 9010; tensión nominal: 400V; tensión de aislamiento: 1000V; corriente de cortocircuito 50kA; encerramiento IP 20 IK 05; 5 hilos: 3 fases + barra neutro + barra para tierra instaladas; barraje en cobre; barras de neutro y tierra instaladas. Corriente nominal de bandeja 200A. Puerta y chapa plástica. Cerradura y llave. Tablero de empotrar y sobreponer, con espacio para 42 circuitos (suministro bajo pedido).	1				Total Partida 2.1..... 1
01.02.02	ud Tablero residencial trifásico REIE, de Legrand o equivalente. Caja, tapa y puerta color blanco REAL 9010; tensión nominal: 400V; tensión de aislamiento: 1000V; corriente de cortocircuito 36kA; encerramiento IP 20 IK 05; 5 hilos: 3fases+barraneutro+barra para tierra instaladas; barraje en cobre; barras de neutro y tierra instaladas. Corriente nominal de bandeja 200A. Puerta y chapa plástica. Cerradura y llave. Tablero de empotrar y sobreponer, con espacio para 30 circuitos.	3				Total Partida 2.2..... 3

01.02.03	ud Tablero residencial trifásico REIE, de Legrand o equivalente. Caja, tapa y puerta color blanco REAL 9010; tensión nominal: 400V; tensión de aislamiento: 1000V; corriente de cortocircuito 25kA; encerramiento IP 20 IK 05; 5 hilos: 3fases+barraneutro+barra para tierra instaladas; barraje en cobre; barras de neutro y tierra instaladas. Corriente nominal de bandeja 200A. Puerta y chapa plástica. Cerradura y llave. Tablero de empotrar y sobreponer, con espacio para 24 circuitos.	6				Total Partida 2.3..... 6
01.02.04	ud Tablero residencial monofásico, de Legrand o equivalente. Tapa color blanco REAL 9010; caja lamina acero galvanizado; tensión nominal: 400V; tensión de aislamiento: 1000V; corriente de cortocircuito ISC 10kA; encerramiento IP 20 IK 05; 3 hilos: 1fases+barra para neutro+barra para tierra instaladas; barraje en aluminio estaño; barras de neutro y tierra instaladas. Corriente nominal de bandeja 75A. Tablero de empotrar y sobreponer, con espacio para 12 circuitos.	36				Total Partida 2.4..... 36

SUBCAPÍTULO 01.03 INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS

Nº Orden	Descripción	unidades	Longitud	Ancho	Altura	IMPORTE POR UNIDAD
01.03.01	ud Interruptor automático tetrapolar 3WL de bastidor abierto de Siemens o derivados. Poder de corte: 50kA; intensidad nominal de 1250A. Cortocircuito 2 a 12xIn. Opciones de comunicación vía Profibus DP o Modbus. Homologaciones: IEC 60947-2, DIN VDE 0690 parte 1, resistencia climática según IEC 68 parte 30-2, CCC y Gost.	1				Total Partida 3.1..... 1
01.03.02	ud Interruptor automático tetrapolar de caja moldeada 3VM de Siemens o derivados. Regulable (Ir=0,7 a 1xIn). Sobrecarga hasta 630kA; capacidad de ruptura 50kA.	2				Total Partida 3.2..... 2
01.03.03	ud Interruptor automático tetrapolar de caja moldeada 3VM de Siemens o derivados. Regulable (Ir=0,7 a 1xIn). Sobrecarga: 112-160A; cortocircuito: 1600A; capacidad de ruptura 36kA (380/415Vac).	2				Total Partida 3.3..... 2
01.03.04	ud Interruptor automático tetrapolar de caja moldeada 3VM de Siemens o derivados. Regulable (Ir=0,7 a 1xIn). Sobrecarga: 88-125A; cortocircuito: 1600A; capacidad de ruptura 36kA (380/415Vac).	2				Total Partida 3.4..... 2
01.03.05	ud Interruptor automático tetrapolar de caja moldeada 3VM de Siemens o derivados. Regulable (Ir=0,7 a 1xIn). Sobrecarga hasta 630A; cortocircuito: 1600A; capacidad de ruptura 36kA (380/415Vac).	5				Total Partida 3.5..... 5
01.03.06	ud Interruptor automático tetrapolar de caja moldeada 3VM de Siemens o derivados. Regulable (Ir=0,7 a 1xIn). Sobrecarga: 112-160A; cortocircuito: 1600A; capacidad de ruptura 25kA (380/415Vac)	7				Total Partida 3.6..... 7

01.03.07	ud Interruptor magnetotérmico en riel DIN 5SL4 con capacidad de ruptura según IEC 60947-2 50kA. Interruptor bipolar de Siemens o derivados. Tensión de empeleo: 220/400Vac, 60Vcc/polo. Curva de disparo tipo C. Corriente nominal: 125A.	2				Total Partida 3.7..... 2
01.03.08	ud Interruptor magnetotérmico en riel DIN 5SL4 con capacidad de ruptura según IEC 60947-2 25kA. Interruptor bipolar de Siemens o derivados. Tensión de empeleo: 220/400Vac, 60Vcc/polo. Curva de disparo tipo C. Corriente nominal: 125A	40				Total Partida 3.8..... 40
01.03.09	ud Interruptor magnetotérmico en riel DIN 5SL4 con capacidad de ruptura según IEC 60947-2 25kA. Interruptor bipolar de Siemens o derivados. Tensión de empeleo: 220/400Vac, 60Vcc/polo. Curva de disparo tipo C. Corriente nominal: 63A	1				Total Partida 3.9..... 1
01.03.10	ud Interruptor magnetotérmico en riel DIN 5SL4 con capacidad de ruptura según IEC 60947-2 10kA. Interruptor bipolar de Siemens o derivados. Tensión de empeleo: 220/400Vac, 60Vcc/polo. Curva de disparo tipo C. Corriente nominal: 63A.	50				Total Partida 3.10..... 50
01.03.11	ud Interruptor magnetotérmico en riel DIN 5SL4 con capacidad de ruptura según IEC 60947-2 10kA. Interruptor bipolar de Siemens o derivados. Tensión de empeleo: 220/400Vac, 60Vcc/polo. Curva de disparo tipo C. Corriente nominal: 50A.	1				Total Partida 3.11..... 1

01.03.12	ud Interruptor magnetotérmico en riel DIN 5SL4 con capacidad de ruptura según IEC 60947-2 10kA. Interruptor bipolar de Siemens o derivados. Tensión de empeleo: 220/400Vac, 60Vcc/polo. Curva de disparo tipo C. Corriente nominal: 25A.	11				Total Partida 3.12.....11
01.03.13	ud Interruptor magnetotérmico en riel DIN 5SL4 con capacidad de ruptura según IEC 60947-2 10kA. Interruptor bipolar de Siemens o derivados. Tensión de empeleo: 220/400Vac, 60Vcc/polo. Curva de disparo tipo C. Corriente nominal: 13A.	3				Total Partida 3.13..... 3

SUBCAPÍTULO 01.04 INTERRUPTORES DIFERENCIALES

Nº Orden	Descripción	unidades	Longitud	Ancho	Altura	IMPORTE POR UNIDAD
01.04.01	ud Interruptor diferencial tetrapolar tipo A con una sensibilidad de 300mA, con calibre 4x882A, de Schneider Electric o equivalente. Tensión de empeleo 400V. Producto certificado AENOR conforme a la norma UNE-EN 61008. Completo de accesorios de unión, fijación y montaje, instalado.	2				Total Partida 4.1..... 2
01.04.02	ud Interruptor diferencial tetrapolar tipo A con una sensibilidad de 300mA, con calibre 4x224A de Schneider Electric o equivalente. Tensión de empeleo 400V. Producto certificado AENOR conforme a la norma UNE-EN 61008. Completo de accesorios de unión, fijación y montaje, instalado.	2				Total Partida 4.2..... 2

01.04.03	ud Interruptor diferencial tetrapolar tipo A con una sensibilidad de 300mA, con calibre 4x175A de Schneider Electric o equivalente. Tensión de empuje 400V. Producto certificado AENOR conforme a la norma UNE-EN 61008. Completo de accesorios de unión, fijación y montaje, instalado.	2				Total Partida 4.3..... 2
01.04.04	ud Interruptor diferencial tetrapolar tipo A con una sensibilidad de 100mA, con calibre 4x882A de Schneider Electric o equivalente. Tensión de empuje 400V. Producto certificado AENOR conforme a la norma UNE-EN 61008. Completo de accesorios de unión, fijación y montaje, instalado.	5				Total Partida 4.5..... 5
01.04.05	ud Interruptor diferencial tetrapolar tipo A con una sensibilidad de 100mA, con calibre 4x 224A de Schneider Electric o equivalente. Tensión de empuje 400V. Producto certificado AENOR conforme a la norma UNE-EN 61008. Completo de accesorios de unión, fijación y montaje, instalado.	7				Total Partida 4.6..... 7
01.04.06	ud Interruptor diferencial bipolar tipo A con una sensibilidad de 30mA, con calibre 2x175A de Schneider Electric o equivalente. Tensión de empuje 400V. Producto certificado AENOR conforme a la norma UNE-EN 61008. Completo de accesorios de unión, fijación y montaje, instalado.	47				Total Partida 4.7..... 47

01.04.07	ud Interruptor diferencial bipolar tipo A con una sensibilidad de 30mA, con calibre 2x88A de Schneider Electric o equivalente. Tensión de empleo 400V. Producto certificado AENOR conforme a la norma UNE-EN 61008. Completo de accesorios de unión, fijación y montaje, instalado.	61					Total Partida 4.8..... 61
----------	---	----	--	--	--	--	------------------------------

SUBCAPÍTULO 01.05 SECCIONES DE CABLES

Nº Orden	Descripción	unidades	Longitud (m)	Ancho	Altura	IMPORTE POR UNIDAD
CGBT/ZH/ZM/ZS						
01.05.01	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x240)mm ²	12	5			Total Partida 5.1..... 84
		8	3			

01.05.02	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x25)mm2	8	3			Total Partida 5.2..... 24
01.05.03	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x35)mm2	4	3			Total Partida 5.3..... 12
Cables pertenecientes al cuadro Zona de Servicios						
01.05.04	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x10)mm2	6	220			Total Partida 5.4..... 1320
01.05.05	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC -	12	150			Total Partida 5.5..... 4170

	331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x6)mm ²	6	220			
		6	175			
Cables pertenecientes al cuadro Zona de Hombres						
01.05.06	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x400)mm ²	16	375			Total Partida 5.6..... 9200
		16	200			
01.05.07	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x150)mm ²	4	375			Total Partida 5.7..... 2300
		4	200			

01.05.08	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x95)mm2	4	300			Total Partida 5.8..... 1200
01.05.09	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x35)mm2	4	300			Total Partida 5.9..... 1200
Cables pertenecientes al cuadro Zona de Mujeres						
01.05.10	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x400)mm2	4	200			Total Partida 5.10..... 800

01.05.11	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x70)mm2	4	200			Total Partida 5.11..... 800
01.05.12	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x150)mm2	16	55			Total Partida 5.12..... 880
01.05.13	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x50)mm2	4	100			Total Partida 5.13..... 400

01.05.14	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x25)mm2	4	100			Total Partida 5.14..... 400
Cables pertenecientes al cuadro MR1oesteH						
01.05.15	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x25)mm2	16	30			Total Partida 5.15..... 640
		8	20			
01.05.16	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x70)mm2	8	30			Total Partida 5.16..... 320
		4	20			
01.05.17	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento:	8	20			Total Partida 5.17..... 172

	compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x16)mm2	6	2			
01.05.18	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x50)mm2	4	20			Total Partida 5.18..... 80
Cables pertenecientes al cuadro MR1oesteH						
01.05.19	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x35)mm2	8	30			Total Partida 5.19..... 400
		8	20			
01.05.20	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x70)mm2	4	30			Total Partida 5.20..... 120

01.05.21	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x25)mm2	8	20			Total Partida 5.21..... 280
		4	30			
01.05.22	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x16)mm2	8	20			Total Partida 5.22..... 280
		4	30			
01.05.23	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x10)mm2	12	2			Total Partida 5.23..... 24

01.05.24	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x50)mm2	4	30			Total Partida 5.24..... 120
Cables pertenecientes al cuadro alaOesteH						
01.05.25	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x35)mm2	4	200			Total Partida 5.25..... 800
01.05.26	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x16)mm2	2	200			Total Partida 5.26..... 608
		4	50			
		4	2			

01.05.27	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x25)mm2	4	150			Total Partida 5.27..... 600
01.05.28	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x10)mm2	2	150			Total Partida 5.28..... 404
		2	50			
		2	2			
01.05.29	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x6)mm2	6	100			Total Partida 5.29..... 600
Cables pertenecientes al cuadro MR1surM						
01.05.30	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento:	8	30			Total Partida 5.30..... 400

	compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x25)mm2	8	20			
01.05.31	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x70)mm2	4	30			Total Partida 5.31..... 200
		4	20			
01.05.32	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x16)mm2	4	30			Total Partida 5.32..... 136
		8	2			
01.05.33	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x10)mm2	8	20			Total Partida 5.33..... 288
		4	2			
		4	30			

01.05.34	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x50)mm2	4	20			Total Partida 5.34..... 200
		4	30			
Cables pertenecientes al cuadro MR2esteM						
01.05.35	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x4)mm2	16	30			Total Partida 5.35..... 800
		16	20			
01.05.36	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x10)mm2	8	30			Total Partida 5.36..... 408
		8	20			
		4	2			

01.05.37	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x50)mm2	8	2			Total Partida 5.37..... 16
Cables pertenecientes al cuadro MR2esteM						
01.05.38	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x25)mm2	4	200			Total Partida 5.38..... 1100
		6	50			
01.05.39	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x10)mm2	2	200			Total Partida 5.39..... 400
01.05.40	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC – 331 (0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta:	6	150			Total Partida 5.39..... 1740
		6	10			

poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x6)mm ²	6	30			
	12	50			

SUBCAPÍTULO 01.01 CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

Nº Orden	Descripción	Importe por unidad	Montaje (10%)	Importe total	Unidades de elemento	TOTAL
01.01.01	ud Transformador tipo seco en resina epoxy de IMEFY Group o equivalentes, de 800 KVA, 20/0.4 kV, con cambiador de tomas en carga para un ajuste de tensión interrumpida, de cinco tomas, 400 V en la toma central y $\pm 2,5\%$ $\pm 5\%$. Tensión de cortocircuito, 6%. Devanados en cobre, clase F, Bornas enchufables, envolvente metálica con un grado de protección IP-23. Equipo de protección térmica mediante sondas PT-100, con indicación de temperatura y con contactos de alarma y disparo.	27000	2700	29700	3	€ 89.100,00
01.01.02	ud Grupo electrógeno fijo insonorizado sobre bancada de funcionamiento automático, trifásico de 230/400 V de tensión, de 180 kVA de potencia en emergencia, compuesto por alternador sin escobillas de 50 Hz de frecuencia; motor diésel de 1500 r.p.m., con regulador de tensión y de velocidad, refrigerado por agua, con silenciador y depósito de combustible; cuadro eléctrico de control; y cuadro de conmutación automática con interruptores de accionamiento automático calibrados a 250 A.	3500	350	3850	1	€ 3.850,00

Subtotal € 92.950,00

SUBCAPÍTULO 01.02 CUADROS ELÉCTRICOS

Nº Orden	Descripción	Importe por unidad	Montaje (10%)	Importe total	Unidades de elemento	Total
01.02.01	ud CGBT. tablero residencial trifásico REIE, de Legrand o equivalente. Caja, tapa y puerta color blanco REAL 9010; tensión nominal: 400V; tensión de aislamiento: 600V; corriente de cortocircuito 50kA; encerramiento IP 20 IK 05; 5 hilos: 3fases+barraneutro+barra para tierra instaladas; barraje en cobre; barras de neutro y tierra instaladas. Corriente nominal de bandeja 200A. Puerta y chapa plástica. Cerradura y llave. Tablero de empotrar y sobreponer, con espacio para 42 circuitos (suministro bajo pedido).	6400	640	7040	1	7.040,00 €
01.02.02	ud Tablero residencial trifásico REIE, de Legrand o equivalente. Caja, tapa y puerta color blanco REAL 9010; tensión nominal: 400V; tensión de aislamiento: 600V; corriente de cortocircuito 36kA; encerramiento IP 20 IK 05; 5 hilos: 3fases+barraneutro+barra para tierra instaladas; barraje en cobre; barras de neutro y tierra instaladas. Corriente nominal de bandeja 200A. Puerta y chapa plástica. Cerradura y llave. Tablero de empotrar y sobreponer, con espacio para 30 circuitos.	5200	520	5720	3	17.160,00 €

01.02.03	ud Tablero residencial trifásico REIE, de Legrand o equivalente. Caja, tapa y puerta color blanco REAL 9010; tensión nominal: 400V; tensión de aislamiento: 600V; corriente de cortocircuito 25kA; encerramiento IP 20 IK 05; 5 hilos: 3fases+barraneutro+barra para tierra instaladas; barraje en cobre; barras de neutro y tierra instaladas. Corriente nominal de bandeja 200A. Puerta y chapa plástica. Cerradura y llave. Tablero de empotrar y sobreponer, con espacio para 24 circuitos.	3100	310	3410	6	20.460,00 €
01.02.04	ud Tablero residencial monofásico, de Legrand o equivalente. Tapa color blanco REAL 9010; caja lamina acero galvanizado; tensión nominal: 400V; tensión de aislamiento: 600V; corriente de cortocircuito ISC 10kA; encerramiento IP 20 IK 05; 3 hilos: 1fases+barra para neutro+barra para tierra instaladas; barraje en aluminio estaño; barras de neutro y tierra instaladas. Corriente nominal de bandeja 75A. Tablero de empotrar y sobreponer, con espacio para 12 circuitos.	1200	120	1320	36	47.520,00 €
Subtotal						92.180,00 €

SUBCAPÍTULO 01.03 INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS

Nº Orden	Descripción	Importe por unidad	Montaje (10%)	Importe total	Unidades de elemento	Total
01.03.01	ud Interruptor automático tetrapolar 3WL de bastidor abierto de Siemens o derivados. Poder de corte: 50kA; intensidad nominal de 1250A. Cortocircuito 2 a 12xIn. Opciones de comunicación vía Profibus DP o Modbus. Homologaciones: IEC 60947-2, DIN VDE 0690 parte 1, resistencia climática según IEC 68 parte 30-2, CCC y Gost.	14500	1450	15950	1	15.950,00 €
01.03.02	ud Interruptor automático tetrapolar de caja moldeada 3VM de Siemens o derivados. Regulable (Ir=0,7 a 1xIn). Sobrecarga hasta 630kA; capacidad de ruptura 50kA.	1970	197	2167	2	4.334,00 €
01.03.03	ud Interruptor automático tetrapolar de caja moldeada 3VM de Siemens o derivados. Regulable (Ir=0,7 a 1xIn). Sobrecarga: 112-160A; cortocircuito: 1600A; capacidad de ruptura 36kA (380/415Vac).	950	95	1045	2	2.090,00 €
01.03.04	ud Interruptor automático tetrapolar de caja moldeada 3VM de Siemens o derivados. Regulable (Ir=0,7 a 1xIn). Sobrecarga: 88-125A; cortocircuito: 1600A; capacidad de ruptura 36kA (380/415Vac).	928	92,8	1020,8	2	2.041,60 €
01.03.05	ud Interruptor automático tetrapolar de caja moldeada 3VM de Siemens o derivados. Regulable (Ir=0,7 a 1xIn). Sobrecarga hasta 630A; cortocircuito: 1600A; capacidad de ruptura 36kA (380/415Vac).	1100	110	1210	5	6.050,00 €

01.03.06	ud Interruptor automático tetrapolar de caja moldeada 3VM de Siemens o derivados. Regulable (Ir=0,7 a 1xIn). Sobrecarga: 112-160A; cortocircuito: 1600A; capacidad de ruptura 25kA (380/415Vac)	950	95	1045	7	7.315,00 €
01.03.07	ud Interruptor magnetotérmico en riel DIN 5SL4 con capacidad de ruptura según IEC 60947-2 50kA. Interruptor bipolar de Siemens o derivados. Tensión de empeleo: 220/400Vac, 60Vcc/polo. Curva de disparo tipo C. Corriente nominal: 125A.	540	54	594	2	1.188,00 €
01.03.08	ud Interruptor magnetotérmico en riel DIN 5SL4 con capacidad de ruptura según IEC 60947-2 25kA. Interruptor bipolar de Siemens o derivados. Tensión de empeleo: 220/400Vac, 60Vcc/polo. Curva de disparo tipo C. Corriente nominal: 125A	356	35,6	391,6	40	15.664,00 €
01.03.09	ud Interruptor magnetotérmico en riel DIN 5SL4 con capacidad de ruptura según IEC 60947-2 25kA. Interruptor bipolar de Siemens o derivados. Tensión de empeleo: 220/400Vac, 60Vcc/polo. Curva de disparo tipo C. Corriente nominal: 63A	320	32	352	1	352,00 €
01.03.10	ud Interruptor magnetotérmico en riel DIN 5SL4 con capacidad de ruptura según IEC 60947-2 10kA. Interruptor bipolar de Siemens o derivados. Tensión de empeleo: 220/400Vac, 60Vcc/polo. Curva de disparo tipo C. Corriente nominal: 63A.	46	4,6	50,6	50	2.530,00 €
01.03.11	ud Interruptor magnetotérmico en riel DIN 5SL4 con capacidad de ruptura según IEC 60947-2 10kA. Interruptor bipolar de Siemens o derivados. Tensión de empeleo: 220/400Vac, 60Vcc/polo. Curva de disparo tipo C. Corriente nominal: 50A.	45	4,5	49,5	1	49,50 €

01.03.12	ud Interruptor magnetotérmico en riel DIN 5SL4 con capacidad de ruptura según IEC 60947-2 10kA. Interruptor bipolar de Siemens o derivados. Tensión de empleo: 220/400Vac, 60Vcc/polo. Curva de disparo tipo C. Corriente nominal: 25A.	40	4	44	11	484,00 €
01.03.13	ud Interruptor magnetotérmico en riel DIN 5SL4 con capacidad de ruptura según IEC 60947-2 10kA. Interruptor bipolar de Siemens o derivados. Tensión de empleo: 220/400Vac, 60Vcc/polo. Curva de disparo tipo C. Corriente nominal: 13A.	40	4	44	3	132,00 €

Subtotal 58.180,10 €

SUBCAPÍTULO 01.04 INTERRUPTORES DIFERENCIALES

Nº Orden	Descripción	Importe por unidad	Montaje (10%)	Importe total	Unidades de elemento	Total
01.04.01	ud Interruptor diferencial tetrapolar tipo A con una sensibilidad de 300mA, con calibre 4x882A, de Schneider Electric o equivalente. Tensión de empleo 400V. Producto certificado AENOR conforme a la norma UNE-EN 61008. Completo de accesorios de unión, fijación y montaje, instalado.	2200	220	2420	2	4.840,00 €

01.04.02	ud Interruptor diferencial tetrapolar tipo A con una sensibilidad de 300mA, con calibre 4x224A de Schneider Electric o equivalente. Tensión de empuje 400V. Producto certificado AENOR conforme a la norma UNE-EN 61008. Completo de accesorios de unión, fijación y montaje, instalado.	2150	215	2365	2	4.730,00 €
01.04.03	ud Interruptor diferencial tetrapolar tipo A con una sensibilidad de 300mA, con calibre 4x175A de Schneider Electric o equivalente. Tensión de empuje 400V. Producto certificado AENOR conforme a la norma UNE-EN 61008. Completo de accesorios de unión, fijación y montaje, instalado.	1800	180	1980	2	3.960,00 €
01.04.04	ud Interruptor diferencial tetrapolar tipo A con una sensibilidad de 100mA, con calibre 4x882A de Schneider Electric o equivalente. Tensión de empuje 400V. Producto certificado AENOR conforme a la norma UNE-EN 61008. Completo de accesorios de unión, fijación y montaje, instalado.	750	75	825	5	4.125,00 €
01.04.05	ud Interruptor diferencial tetrapolar tipo A con una sensibilidad de 100mA, con calibre 4x 224A de Schneider Electric o equivalente. Tensión de empuje 400V. Producto certificado AENOR conforme a la norma UNE-EN 61008. Completo de accesorios de unión, fijación y montaje, instalado.	490	49	539	7	3.773,00 €

01.04.06	ud Interruptor diferencial bipolar tipo A con una sensibilidad de 30mA, con calibre 2x175A de Schneider Electric o equivalente. Tensión de empleo 400V. Producto certificado AENOR conforme a la norma UNE-EN 61008. Completo de accesorios de unión, fijación y montaje, instalado.	312	31,2	343,2	47	16.130,40 €
01.04.07	ud Interruptor diferencial bipolar tipo A con una sensibilidad de 30mA, con calibre 2x88A de Schneider Electric o equivalente. Tensión de empleo 400V. Producto certificado AENOR conforme a la norma UNE-EN 61008. Completo de accesorios de unión, fijación y montaje, instalado.	206	20,6	226,6	61	13.822,60 €

Subtotal 51.381,00 €

SUBCAPÍTULO 01.05 SECCIONES DE CABLES

Nº Orden	Descripción	Importe por unidad	Montaje (10%)	Importe total	Unidades de elemento	Total
CGBT/ZH/ZM/ZS						
01.05.01	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x240)mm ²	66,504	6,6504	73,1544	84	6.144,97 €

01.05.02	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x25)mm2	8,596	0,8596	9,4556	24	226,93 €
01.05.03	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x35)mm2	12,534	1,2534	13,7874	12	165,45 €
Cables pertenecientes al cuadro Zona de Servicios						
01.05.04	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x10)mm2	4,848	0,4848	5,3328	1320	7.039,30 €

01.05.05	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x6)mm2	3,718	0,3718	4,0898	4170	17.054,47 €
Cables pertenecientes al cuadro Zona de Hombres						
01.05.06	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x400)mm2	99,208	9,9208	109,128 8	9200	1.003.984,96 €
01.05.07	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x150)mm2	42,648	4,2648	46,9128	2300	107.899,44 €

01.05.08	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x95)mm2	28,846	2,8846	31,7306	1200	38.076,72 €
01.05.09	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x35)mm2	12,534	1,2534	13,7874	1200	16.544,88 €
Cables pertenecientes al cuadro Zona de Mujeres						
01.05.10	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x400)mm2	99,208	9,9208	109,128 8	800	87.303,04 €

01.05.11	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x70)mm2	22,426	2,2426	24,6686	800	19.734,88 €
01.05.12	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x150)mm2	42,648	4,2648	46,9128	880	41.283,26 €
01.05.13	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x50)mm2	16,372	1,6372	18,0092	400	7.203,68 €

01.05.14	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x25)mm2	8,596	0,8596	9,4556	400	3.782,24 €
Cables pertenecientes al cuadro MR1oesteH						
01.05.15	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x25)mm2	8,596	0,8596	9,4556	640	6.051,58 €
01.05.16	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x70)mm2	22,426	2,2426	24,6686	320	7.893,95 €

01.05.17	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x16)mm2	6,314	0,6314	6,9454	172	1.194,61 €
01.05.18	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x50)mm2	16,372	1,6372	18,0092	80	1.440,74 €
Cables pertenecientes al cuadro MR1oesteH						
01.05.19	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x35)mm2	12,534	1,2534	13,7874	400	5.514,96 €

01.05.20	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x70)mm2	22,426	2,2426	24,6686	120	2.960,23 €
01.05.21	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x25)mm2	8,596	0,8596	9,4556	280	2.647,57 €
01.05.22	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x16)mm2	6,314	0,6314	6,9454	280	1.944,71 €

01.05.23	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x10)mm ²	4,848	0,4848	5,3328	24	127,99 €
01.05.24	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x50)mm ²	16,372	1,6372	18,0092	120	2.161,10 €
Cables pertenecientes al cuadro alaOesteH						
01.05.25	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x35)mm ²	12,534	1,2534	13,7874	800	11.029,92 €

01.05.26	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x16)mm2	6,314	0,6314	6,9454	608	4.222,80 €
01.05.27	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x25)mm2	8,596	0,8596	9,4556	600	5.673,36 €
01.05.28	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x10)mm2	4,848	0,4848	5,3328	404	2.154,45 €

01.05.29	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x6)mm2	3,718	0,3718	4,0898	600	2.453,88 €
Cables pertenecientes al cuadro MR1surM						
01.05.30	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x25)mm2	8,596	0,8596	9,4556	400	3.782,24 €
01.05.31	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x70)mm2	22,426	2,2426	24,6686	200	4.933,72 €

01.05.32	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x16)mm ²	6,314	0,6314	6,9454	136	944,57 €
01.05.33	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x10)mm ²	4,848	0,4848	5,3328	288	1.535,85 €
01.05.34	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x50)mm ²	16,372	1,6372	18,0092	200	3.601,84 €
Cables pertenecientes al cuadro MR2esteM						

01.05.35	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x4)mm2	2,59	0,259	2,849	800	2.279,20 €
01.05.36	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x10)mm2	4,848	0,4848	5,3328	408	2.175,78 €
01.05.37	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x50)mm2	16,372	1,6372	18,0092	16	288,15 €
Cables pertenecientes al cuadro MR2esteM						

01.05.38	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x25)mm2	8,596	0,8596	9,4556	1100	10.401,16 €
01.05.39	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x10)mm2	4,848	0,4848	5,3328	400	2.133,12 €
01.05.40	Cable de distribución de energía de baja tensión, RZ1-K(AS). Cable unipolar de General Cable. SEGURFOC - 331(0,6/1kV). Conductor de cobre: clase 5. Aislamiento: compuesto termoestable especial ignífugo. Cubierta: poliolefina color naranja. Temperatura máxima de utilización: 90°C. Resistente al fuego, no propagador de incendios. Libre de halógenos. Baja emisión de humos opacos. Sección: (1x6)mm2	3,718	0,3718	4,0898	1740	7.116,25 €
Subtotal						1.453.107,96 €

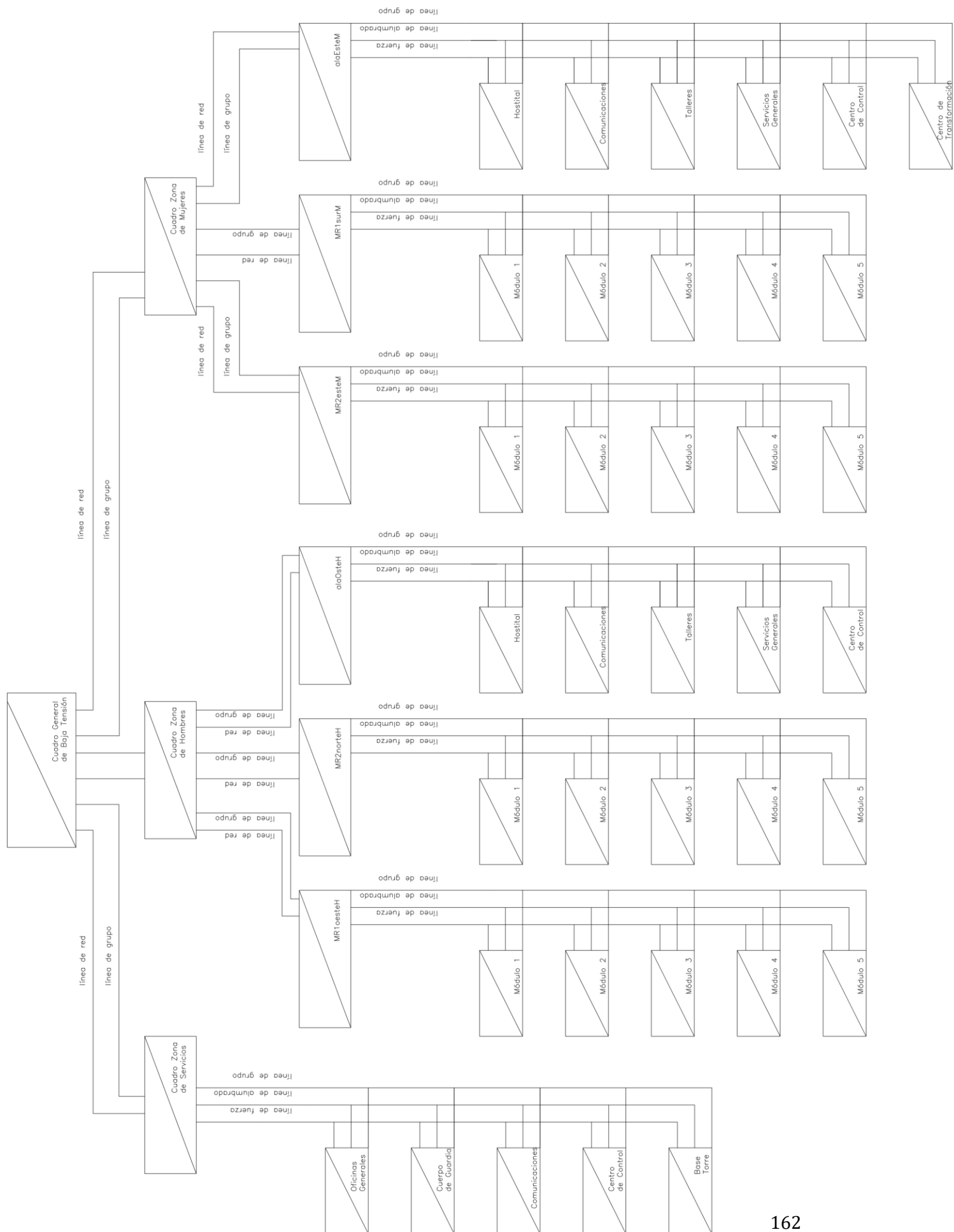
Presupuesto de ejecución del material:	1.747.799,06 €
13% Gastos Generales:	227.213,88 €
6% Beneficios Industriales:	104.867,94 €
Presupuesto de ejecución por contrata:	2.079.880,88 €
IVA 21%:	436.774,98 €
Presupuesto Base Licitación:	2.516.655,87 €

9. PLANOS

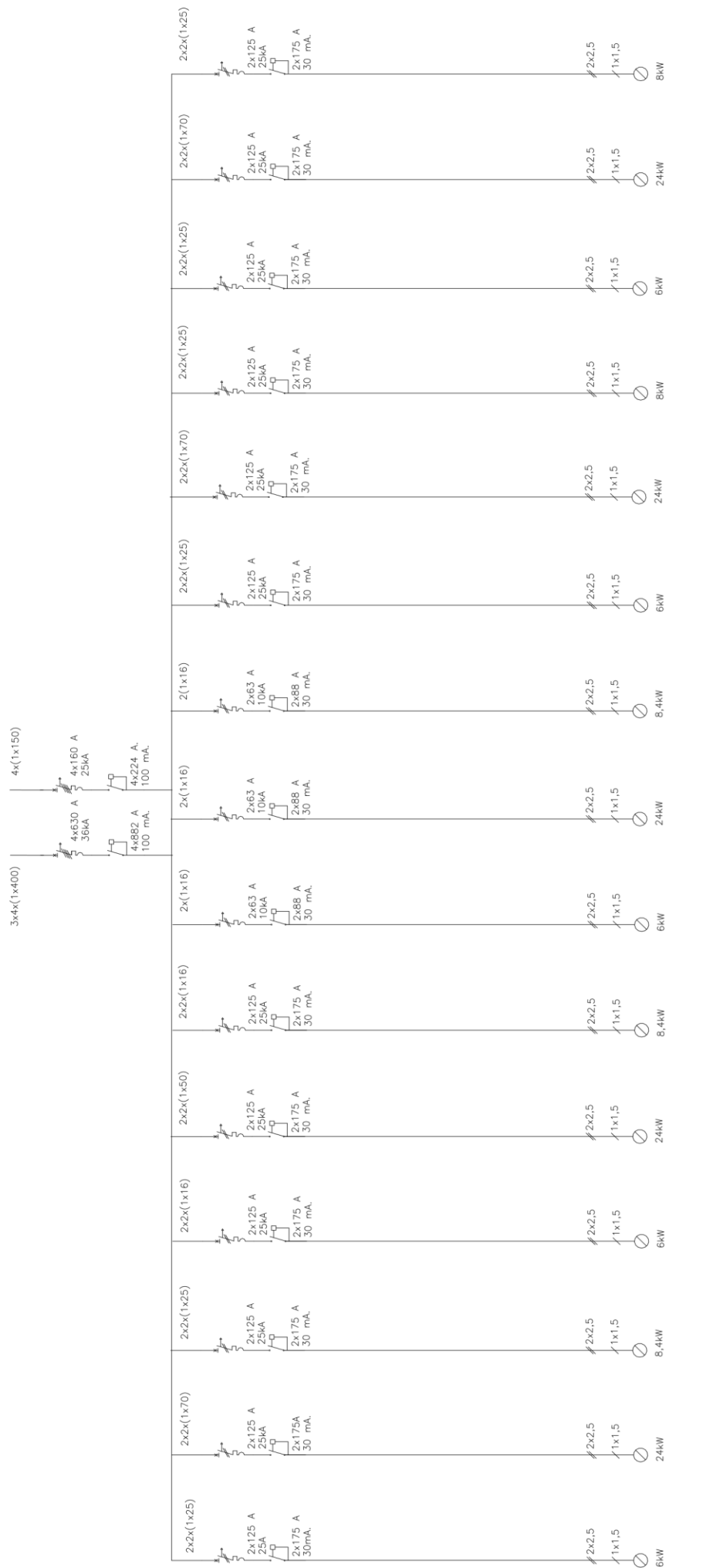
Orden de los planos:

1. Esquema general de los edificios que existen la Unidad de Preventivos.
2. Esquema de los cuadros eléctricos que componen la instalación.
3. Plano unifilar general del que se derivan los demás planos.
4. Plano unifilar de MR1oesteH.
5. Plano unifilar de MR2norteH.
6. Plano unifilar de alaOesteH.
7. Plano unifilar de MR1surM.
8. Plano unifilar de MR2esteM.
9. Plano unifilar de alaEsteM.

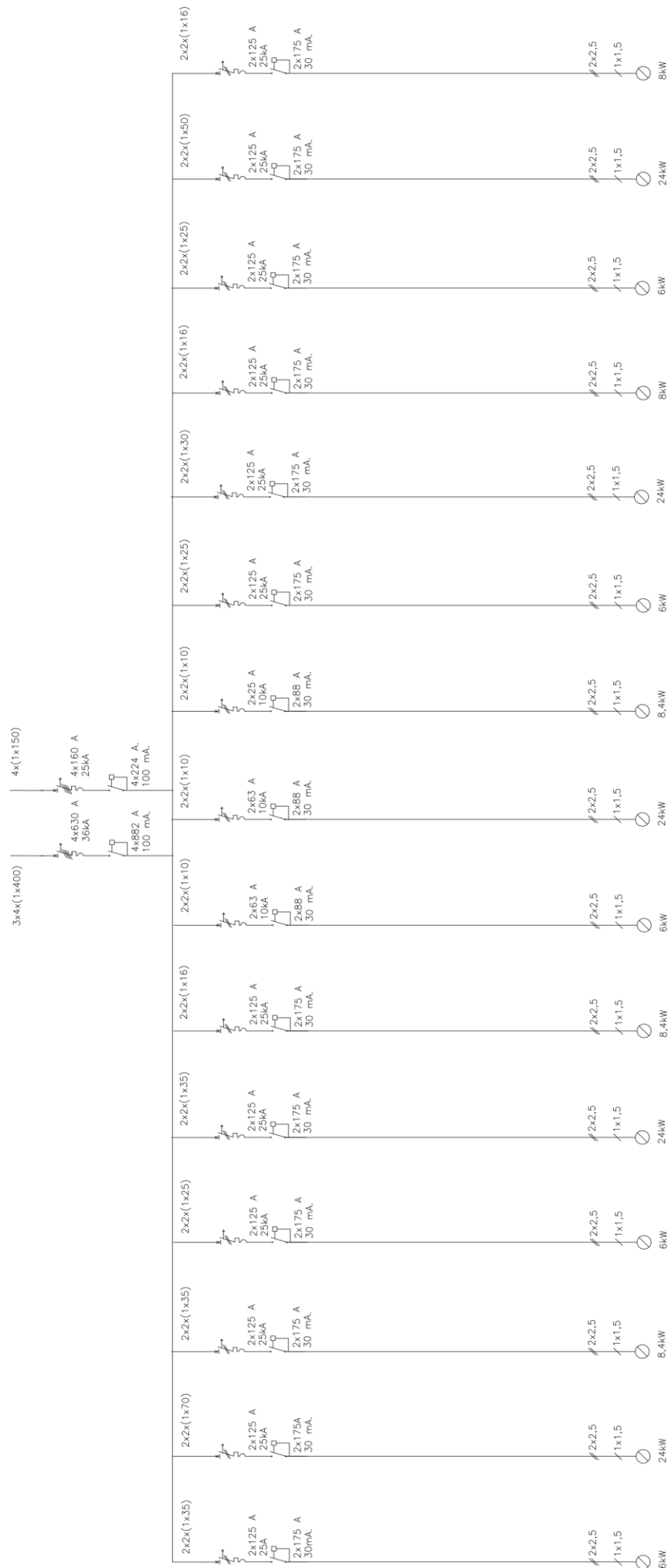
[illegible]



MRToesteh



MR2norteH



MR1surM

